

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Faculdade de Ciências

Departamento de Informática



SIMULADOR DATA LINK –  
PILOTO/CONTROLADOR TRÁFEGO AÉREO

João Carlos Macedo Salvado Alves

Relatório Público

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Sistemas de Informação

2010



UNIVERSIDADE DE LISBOA

Faculdade de Ciências

Departamento de Informática



SIMULADOR DATA LINK –  
PILOTO/CONTROLADOR TRÁFEGO AÉREO

João Carlos Macedo Salvado Alves

PROJECTO

Trabalho orientado pelo Prof. Doutor António Casimiro Ferreira da Costa e co-orientado pelo Engenheiro José dos Santos Mestre Vermelhudo.

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Sistemas de Informação

2010

# **Agradecimentos**

Gostaria de deixar aqui os meus agradecimentos a todos aqueles que me apoiaram e ajudaram ao longo de todo o percurso na faculdade, durante a Licenciatura e agora nestes últimos dois anos no Mestrado, e ainda aos colegas aqui da NAV.

Em primeiro lugar queria agradecer aos colegas que fizeram praticamente toda a licenciatura comigo, e com os quais passei a maior parte dos tempos de trabalho assim como os tempos de diversão. Sem uma ordem estabelecida aqui vai então um Obrigado especial e um abraço para o Tiago Castro, João Pereira, Manuel Júlio, Filipe Fortunato, Vítor Gil e André Ramos.

Em segundo lugar queria agradecer aos colegas que fizeram comigo o mestrado, e que fizeram com que fosse possível estar agora a escrever este documento. Um Obrigado muito especial também para o Nuno Dias e para a Ana Lúcia para os quais vai um grande abraço e um grande beijinho respectivamente.

Quero deixar também um agradecimento especial ao meu Orientador, o Professor António Casimiro e ainda aos meus Coordenadores da NAV, o Engº José Vermelhudo e o Engº Manuel Dias. Quanto aos colegas da NAV, quero deixar um agradecimento especial à Equipa ASD, nomeadamente Tiago Bica e Tiago Estima pela formação na Framework e por todo o apoio prestado no desenvolvimento do protótipo ASD, e ainda um muito obrigado também ao Ivo Pereira por todo o apoio prestado e tempo disponibilizado no desenvolvimento do DLP e ainda pela possibilidade de integração do projecto desenvolvido com o seu projecto. Para o resto dos colegas um obrigado também por todo o apoio prestado durante o estágio e pela fácil integração que me proporcionaram nomeadamente com os tempos passados na hora de almoço, fosse com os jogos de futebol e basket ou com o snooker. Um abraço e um obrigado também ao André Vidigal, Miguel Seabra, Paulo Ceia, Manuel Campaniço, Rui Pereira, David Rebelo, José Carvalho, Carlos Carvalho, Carlos Santos, Joaquim Silva e um beijinho para a Maria João e para a Ana Lúcia.

E finalmente queria deixar aqui um agradecimento e beijinho também especiais à minha família por sempre ter acreditado em mim e me ter apoiado ao longo de todo o meu percurso escolar. E ainda um beijinho muito grande à minha namorada Ana Moreira que muito me apoiou e aturou também durante este ano.

Muito Obrigado a todos.

(Página intencionalmente deixada em branco)

*Para todos aqueles que sempre acreditaram em mim e me apoiaram.*

(Página intencionalmente deixada em branco)

## Resumo

Com o aumento do tráfego aéreo e o consequente aumento da complexidade do sistema de controlo é necessário arranjar formas de adequar a capacidade do mesmo à procura mas sem aumentar os custos. Actualmente isso é feito através da criação de novos sectores de controlo, isto é, se um sector de controlo controla uma área com muito tráfego divide-se esse sector em dois. Isto implica a utilização de uma nova frequência de rádio e de mais um controlador e sendo o espectro de frequências um bem escasso e o uso de mais controladores implicar custos, essa pode não ser a melhor solução. O Data Link surge assim como uma tecnologia aprovada pelas entidades que regulam o tráfego aéreo, como sendo uma boa solução para resolver o problema. Este vai permitir o contacto entre aeronaves e centros de controlo, através de mensagens escritas pré-definidas, ou seja, comunicação digital em vez da tradicional comunicação voz. Este método é usado em alternativa à comunicação voz e deve ser utilizado sempre que o tráfego o permitir, cabendo sempre ao Controlador a decisão sobre qual o processo a utilizar. Um exemplo parecido fora da área é a opção que tomamos na comunicação GSM, ao enviar um SMS se não é urgente, ou telefonar se é mais urgente.

O objectivo do projecto passa por evoluir o SIMATM – Simulador de Controlo de Tráfego – para o sistema ATM da NAV para que este inclua a tecnologia Data Link. Esta evolução irá permitir efectuar testes ao sistema antes da entrada em operação, bem como permitir a formação de controladores neste novo procedimento operacional. Em síntese, um controlador deve conseguir identificar uma aeronave com capacidade Data Link e contactar com a mesma quando esta está ligada ao sistema de Controlo. Os desenvolvimentos neste projecto incluem a proposta de um novo HMI – Human Machine Interface – em uso actual no Centro de Controlo, bem como de alterações no SIMATM para permitir a simulação de aeronaves com capacidade Data Link.

**Palavras-chave:** data link, controlo de tráfego aéreo, comunicação, apresentação, simulação



(Página intencionalmente deixada em branco)

## **Abstract**

With the increase in air traffic and the consequent increase in the complexity of the air traffic control system is necessary to find ways to adapt the system's capacity to the demand, but without increasing costs. Currently this is done by creating new sectors of control, ie, a sector control which controls an area with lots of traffic is divided into two sectors. This implies the use of a new radio frequency and another controller, and being the frequency spectrum a scarce resource, and the use of more controllers has costs implications that may not be the best solution. The Data Link comes as a technology approved by the authorities that regulate the air traffic control, as a good solution to solve the problem. This will facilitate contact between aircraft and control centers via pre-defined text messages, ie, digital communication instead of traditional voice communication. This method is used as an alternative to voice communication, and should be used whenever traffic situations allow it, always leaving to the Controller the decision on which procedure to use. A good example out of this area is the option we take on GSM communication by sending an SMS if it is not urgent, or making a call if it's more urgent.

The project involves the evolution of the SIMATM – Air Traffic Management Simulator – for NAV's ATM system so it can include the Data Link technology. This evolution will allow the testing of the system before it is put into operation and will allow the training of controllers in this new operating procedure. In summary, a controller must be able to identify an aircraft with data link capability and communicate with it when it is connected to the control center. Developments in this project include the proposed new HMI – Human Machine Interface – in current use in the Control Center, as well as changes in SIMATM to allow the simulation of aircraft with data link.

**Keywords:** data link. Air traffic control, communication, presentation, simulation

(Página intencionalmente deixada em branco)

# Conteúdo

Capítulo 1 Introdução .....	1
1.1 Motivação .....	1
1.2 Instituição de Acolhimento .....	3
1.3 Equipa de Trabalho .....	4
1.4 Integração na Empresa .....	4
1.5 Objectivos.....	5
1.6 Organização do documento.....	6
Capítulo 2 Enquadramento .....	7
2.1 Data Link.....	7
2.1.1 Introdução .....	7
2.1.2 Vantagens.....	7
2.1.3 Funcionamento.....	9
2.1.4 Comunicação .....	9
2.1.5 Serviços Data Link.....	12
2.1.6 Mensagens .....	18
2.2 Projecto Data Link – Descrição do Problema .....	18
2.3 Sistema Existente .....	19
2.3.1 LISATM – Lisbon Air Traffic Management System .....	19
2.3.2 LISATM Fallback System .....	20
2.3.3 ASD – Air Situation Display .....	20
2.3.4 SIMATM – Simulador ATM – Air Traffic Management.....	20
2.3.5 Basic System.....	21
2.3.6 XmlRac – Xml Register-Alive Connection .....	22
2.3.7 DLS – Data Link Server .....	22
2.3.8 ADI – ATM/DLS Interface.....	22
2.4 Levantamento de Requisitos .....	23
2.4.1 Requisitos Funcionais ASD .....	24
2.4.2 Requisitos Não Funcionais ASD .....	24

2.4.3	Requisitos Funcionais SIMATM .....	25
2.4.4	Requisitos Não Funcionais SIMATM .....	25
2.4.5	Requisitos Funcionais DLP .....	26
2.4.6	Requisitos Não Funcionais DLP .....	27
Capítulo 3 Definição do Sistema.....		28
3.1	Arquitectura.....	28
3.2	Interfaces .....	29
Capítulo 4 Concretização .....		30
4.1	Decisões e Enquadramento .....	30
4.1.1	ASD – Air Situation Display – e SIMATM – Simulador ATM....	30
4.1.2	DLP – Data Link Processor .....	31
4.2	Implementação .....	32
4.2.1	ASD – Air Situation Display .....	32
4.2.2	DLP – Data Link Processor .....	33
4.2.3	SIMATM – Simulador ATM.....	34
Capítulo 5 Testes/Resultados .....		35
5.1	Testes de Integração .....	35
5.1.1	ASD (Air Situation Display) .....	35
5.1.2	DLP (Data Link Processor) – ASD.....	37
5.2	Testes de Sistema .....	39
5.2.1	Descrição dos Cenários.....	40
Capítulo 6 Conclusões.....		46

(Página intencionalmente deixada em branco)

# Lista de Acrónimos

<b>SIGLA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>ACL</b>	ATC Clearances
<b>ACM</b>	ATC Communications Management
<b>ADI</b>	ATM / DLS Interface
<b>AMC</b>	ATC Microphone Check
<b>ANSP</b>	Air National Service Provider
<b>AOS</b>	Airport Operational Services
<b>ARTAS</b>	ATM surveillance (Radar) Tracker And Server
<b>ASD</b>	Air Situation Display
<b>ASN1</b>	Abstract Syntax Notation 1
<b>ATC</b>	Air Traffic Control
<b>ATCC</b>	Air Traffic Control Center
<b>ATIS</b>	Automated Terminal Information Service
<b>ATM</b>	Air Traffic Management
<b>ATN</b>	Aeronautical Telecommunications Network
<b>ATO</b>	Actual Time Over
<b>ATSS</b>	ATO TFC SN System
<b>ATSU</b>	Air Traffic Services Unit
<b>CFMU</b>	Central Flow Management Unit
<b>CPDLC</b>	Controller Pilot Data Link Communication
<b>CWP</b>	Controller Working Position
<b>DLP</b>	Data Link Processor
<b>DLS</b>	Data Link Server
<b>DSTI</b>	NAV – Direcção de Sistemas e Tecnologias de Informação
<b>EID</b>	Electronic Information Distribution
<b>EUROCONTROL</b>	European Organisation for the Safety of Air Navigation

<b>FDPS</b>	Flight Data Processing System
<b>FIR</b>	Flight Information Region
<b>FMS</b>	Flight Management System
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>GUI</b>	Graphical User Interface
<b>GUI</b>	Graphics User Interface
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>IBM</b>	International Business Machines Corporation
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organisation
<b>IFPS</b>	Initial Flight Plan Processing System
<b>IRS</b>	Interface Requirements Specification
<b>LISATM</b>	Lisbon Air Traffic Management System
<b>MVC</b>	Model View Controller
<b>NAV</b>	Navegação Aérea de Portugal
<b>NM</b>	Nautical Miles
<b>ODS</b>	Operator Display System
<b>OLDI</b>	On Line Data Interchange
<b>POACCS</b>	Portuguese Operational Air traffic Control Center System
<b>Pré – OJT</b>	Pré – On Job Training
<b>SADIS</b>	Satellite Distribution
<b>SCM</b>	System Control Monitoring
<b>SDPS</b>	Surveillance Data Processing System
<b>SIMATM</b>	Simulador ATM
<b>SIMGS</b>	SIMATM Game Supervisor
<b>SIMPP</b>	SIMATM Pseudo Pilot
<b>SIMSE</b>	SIMATM Scenario Editor
<b>SISINT</b>	NAV-DSTI: Sistemas – Interface com o utilizador
<b>SISLOG</b>	NAV-DSTI: Sistemas – Logística



<b>SISPRO</b>	NAV-DSTI: Sistemas – Produção
<b>SISQUA</b>	NAV-DSTI: Sistemas – Gestão da Qualidade e Safety
<b>SN</b>	Safety Nets
<b>SSR</b>	Secondary Surveillance Radar
<b>TFC</b>	Track Flight Correlation
<b>TWRATM</b>	Tower ATM
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>Xml</b>	Extensible Markup Language
<b>xmlRac</b>	Xml Register-Alive Connection

(Página intencionalmente deixada em branco)

# Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa com as regiões de voo controladas pela NAV.....	3
Figura 2 – Principais vantagens na implementação dos serviços Data Link .....	8
Figura 3 – Modelo OSI no contexto ATN. ....	10
Figura 4 – Diagrama da Rede ATN. ....	11
Figura 5 – Diagrama da função de Logon do serviço DLIC .....	12
Figura 6 – Diagrama da função de Contact do serviço DLIC.....	13
Figura 7 – Diagrama da mensagem Contact do serviço ACM .....	14
Figura 8 – Diagrama de uma ACL do controlador para a aeronave .....	15
Figura 9 – Diagrama de uma ACL da aeronave para o controlador .....	16
Figura 10 – Diagrama do serviço AMC.....	17
Figura 17 – Arquitectura do Sistema Pre-OJT / Arquitectura do sistema de testes LISATM.....	21
Figura 43: Ambiente de Testes da Fase 1 de Testes .....	36
Figura 44: Ambiente de Testes da Fase 2 de Testes .....	37
Figura 45: Ambiente de Testes da Fase 3 de Testes .....	39

Todas as outras figuras são de conteúdo confidencial e não estão disponíveis nesta versão pública do relatório.

(Página intencionalmente deixada em branco)

# Lista de Tabelas

Tabela 2: Testes realizados/Resultados no ambiente de Teste 1 .....	36
Tabela 3: Testes realizados/Resultados no ambiente de Teste 2 para protocolo xmlRac .....	37
Tabela 4: Testes realizados/Resultados no ambiente de Teste 2 para mensagens aplicacionais. ....	38
Tabela 5: Tabela com a descrição dos cenários realizados para testes de sistema. ....	44

Todas as outras tabelas são de conteúdo confidencial e não estão disponíveis nesta versão pública do relatório.

(Página intencionalmente deixada em branco)

# Tabela de Referências

Ref.	Documento
[1]	Web Site ICAO – International Civil Aviation Organization <a href="http://www.icao.int/">http://www.icao.int/</a>
[2]	Web Site EUROCONTROL – European Organisation for the Safety of Air Navigation <a href="http://www.eurocontrol.int/">http://www.eurocontrol.int/</a>
[3]	Web Site NAV Portugal EPE <a href="http://www.nav.pt/">http://www.nav.pt/</a>
[4]	NAV, Qualidade POP-20 – Prestação de Serviços de Desenvolvimento de Sistemas (Apresentação Power Point)
[5]	NAV, SIMATM – Simulador ATM Artigo Navegar, versão 1.0, 2006.
[6]	EUROCONTROL, Data Link <a href="http://www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/ansps.html">http://www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/ansps.html</a>
[7]	EUROCONTROL, Data Link Curso COM-DLT-Lisbon – Data Link Technology in Europe, versão 1.1, 2007
[8]	EUROCONTROL, Data Link EUROCONTROL Specification on Data Link Services, versão 2.1, 2009. <i>Pode ser consultado em:</i> <a href="http://www.eurocontrol.int/link2000/gallery/content/public/files/documents/DLS%20ES%2028_01_2009%20v2.1%20released_signed.pdf/">http://www.eurocontrol.int/link2000/gallery/content/public/files/documents/DLS%20ES%2028_01_2009%20v2.1%20released_signed.pdf/</a>
[9]	EUROCONTROL, Data Link ATC Data Link Operational Guidance for Link 2000+ Services, versão 5.0, 2009. <i>Pode ser consultado em:</i> <a href="http://www.eurocontrol.int/link2000/gallery/content/public/files/documents/ATC%20DL%20Oper%20Guidance%20for%20LINK2000+%20Services%20v5-0.pdf">http://www.eurocontrol.int/link2000/gallery/content/public/files/documents/ATC%20DL%20Oper%20Guidance%20for%20LINK2000+%20Services%20v5-0.pdf</a>
[10]	NAV, LISATM - Lisbon Air Traffic Management System

	System Architecture Specification, versão 5.0, 2009. LISATM_Vision (Apresentação Power Point)
[11]	NAV, ASD – Air Situation Display Project Vision, versão 1.1, 2003
[12]	NAV, SIMATM – Simulador ATM System Architecture Specification, versão 1.3, 2009.
[13]	NAV, Basic System Basic System – A Standard Application Platform (Formação em Basic System)
[14]	OS/2 Operating System <a href="http://www.ecomstation.com/">http://www.ecomstation.com/</a>
[15]	Solaris Operating System <a href="http://www.sun.com/software/solaris/">http://www.sun.com/software/solaris/</a>
[16]	NAV, xmlRac – xml Register Alive Connection Interface Design Document, versão 1.0, 2002.
[17]	DLS – Data Link Server Interface Control Document between the DLS and the ATCS, versão 1.0, 2005
[18]	ADI – Air Traffic Management / Data Link Server Interface Software Requirement Specifications, versão 1.0, 2009
[19]	EUROCONTROL, Link 2000+ The Link 2000+ XML Based ATC Information Exchange Format, versão 1.1, 2008 <i>Pode ser consultado em:</i> <a href="http://www.eurocontrol.int/link2000/gallery/content/public/files/documents/Link2000+_xml_based_ATC_Information_Exchange1.1.pdf/">http://www.eurocontrol.int/link2000/gallery/content/public/files/documents/Link2000+_xml_based_ATC_Information_Exchange1.1.pdf/</a>
[20]	EUROCONTROL, Link2000+ Controller HMI Mock-Ups <i>Pode ser consultado em:</i> <a href="http://www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/controller_mockups.html">http://www.eurocontrol.int/link2000/public/standard_page/controller_mockups.html</a>
[21]	NAV, DLP – Data Link Processor Software Requirements Specification, versão 1.0, 2010



[22]	NAV, FDPS – Flight Data Processing System System Segment Specification Software Requirements Specification External Interface Description Software Interface Specification
[23]	NAV, Data Link Interface Requirements Specification, versão 1.0, 2010
[24]	MVC – Model View Controller <a href="http://java.sun.com/developer/technicalArticles/javase/mvc/?intcmp=3273">http://java.sun.com/developer/technicalArticles/javase/mvc/?intcmp=3273</a>
[25]	DLS ATN Tools – Data Link Server Aeronautical Telecommunications Network Tools User Guide for Manual CM/CPDLC Air Test Tools, versão 1.1, 2008
[26]	Tortoise CVS – Concurrent Version System <a href="http://www.tortoisecvs.org/">http://www.tortoisecvs.org/</a>

(Página intencionalmente deixada em branco)

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação

Hoje em dia a aviação é um dos meios de transporte mais utilizado em todo o mundo. Isto deve-se sobretudo à sua eficiência, segurança e rapidez, tornando-se desta forma a principal escolha das pessoas para viajarem à escala global, regional (continente Europeu, por exemplo) ou mesmo local (Península Ibérica, por exemplo). Tem também uma importância bastante elevada ao nível dos negócios, não só no transporte de pessoas que os realizam, mas também no transporte dos bens relativos a esses mesmos negócios.

Devido ao aumento da procura deste serviço o número de aeronaves a circular por esse mundo fora tem aumentado significativamente e consequentemente, com o aumento de tráfego que daí provém, existe também um aumento da complexidade do sistema de controlo de tráfego. Actualmente a nível mundial, uma das principais soluções para tentar simplificar o sistema é a criação de novos sectores de controlo, isto é, se um sector está a controlar demasiado tráfego então divide-se esse sector em dois. No entanto, isso implica a utilização de uma frequência de rádio extra, pois cada sector trabalha sobre uma frequência específica, e sendo o espectro de frequências um bem escasso, essa solução apresenta-se como não sendo a melhor. É portanto necessário implementar novas tecnologias e/ou funcionalidades para que o sistema consiga suportar ou acomodar este aumento de capacidade a que vai ser sujeito num futuro próximo. De facto, um dos grandes problemas da actualidade é a limitação das frequências de rádio disponíveis para contacto entre controladores e tripulação das aeronaves. Tal acontece porque a existência de um canal de voz aberto em determinada frequência entre uma aeronave e um controlador num determinado sector de controlo, implica que mais nenhum sector possa usar essa frequência para comunicar.

Tendo em conta a quantidade de tráfego existente, obter novas frequências está a tornar-se complicado. A tecnologia Data Link foi provada como uma boa solução para resolver o problema por parte das entidades que regulam o controlo de tráfego aéreo, a ICAO – International Civil Aviation Organization [1] (a nível Mundial) e o

EUROCONTROL – European Organisation for the Safety of Air Navigation [2] (a nível Europeu). A tecnologia Data Link vai permitir o contacto entre os controladores e as tripulações das aeronaves através de mensagens escritas pré-definidas, ou seja, comunicação digital, em vez da tradicional comunicação voz o que vai permitir libertar em muito a ocupação das frequências de voz que assim podem ser usadas com maior facilidade em situações de maior urgência e complexidade. Sendo o Data Link uma tecnologia que vai apenas ser usada em altitude de rota de voo, sobram ainda mais utilizações para a tradicional comunicação por voz, como por exemplo, situações tácticas como a aproximação e processos de aterragem e descolagem.

Outra das grandes vantagens desta tecnologia é a segurança, um aspecto fundamental no Controlo de Tráfego Aéreo. Foi comprovado através de estudos realizados, uma vez mais pelas entidades reguladoras, que a probabilidade de um controlador se enganar na mensagem Data Link a enviar é inferior à probabilidade de haver má interpretação duma instrução dada por voz. Com a comunicação voz, para além do ruído que é constante, existem também outros factores, como os vários sotaques das várias pessoas intervenientes no meio que podem provocar com maior probabilidade essa má interpretação. No caso do Data Link, mesmo que seja enviada uma mensagem errada, existe sempre a possibilidade de confirmação da mesma mensagem através da comunicação por voz que continua em uso. A probabilidade de envio de mensagens erradas pode aumentar em situações mais complexas pois o controlador pode ter várias aeronaves para controlar em simultâneo, mas como explicado anteriormente, em situações mais complexas deve sempre ser usado o método tradicional de comunicação por voz.

Devido a todos estes factores e à participação da NAV num projecto a nível europeu, coordenado pelo EUROCONTROL, é necessário desenvolver a tecnologia Data Link no sistema de controlo de tráfego existente na NAV. Sendo uma tecnologia que vai implicar alterações ao modo de operação dos controladores, a mesma tem que ser testada e aprovada exaustivamente pelos mesmos, para além da formação que vai ter que ser dada neste novo procedimento operacional. Deste modo, é fundamental implementar a tecnologia no Simulador de Tráfego Aéreo da NAV para esta poder ser testada antes do seu uso operacional.

## 1.2 Instituição de Acolhimento

A NAV Portugal, EPE [3] tem como principal missão prestar todo o tipo de serviços de tráfego aéreo nas FIR's – Flight Information Regions – de Lisboa e Santa Maria que correspondem respectivamente a todo o tráfego aéreo existente em Portugal Continental e Madeira e ao tráfego aéreo existente nos Açores. Tem como principais objectivos cumprir a regulamentação nacional e internacional, garantindo os melhores padrões de segurança do tráfego aéreo, dar uma resposta adequada à procura do tráfego e a evolução para a excelência no âmbito da gestão de qualidade, tendo sempre em conta preocupações ambientais. A empresa tem sede em Lisboa, junto ao Aeroporto Internacional da Portela, onde tem o seu principal centro de controlo e também o centro de formação onde são ministrados os cursos de Controlador de Tráfego Aéreo. Tem depois na ilha de Santa Maria, no arquipélago dos Açores, outro centro de controlo de tráfego que gere o tráfego aéreo atlântico na FIR de Santa Maria. Depois, para além destes dois centros, tem ainda serviços de tráfego instalados nas torres de controlo dos principais aeroportos do país, tendo ainda igualmente espalhadas pelo país, várias infra-estruturas de apoio como estações radar e rádio-ajudas.

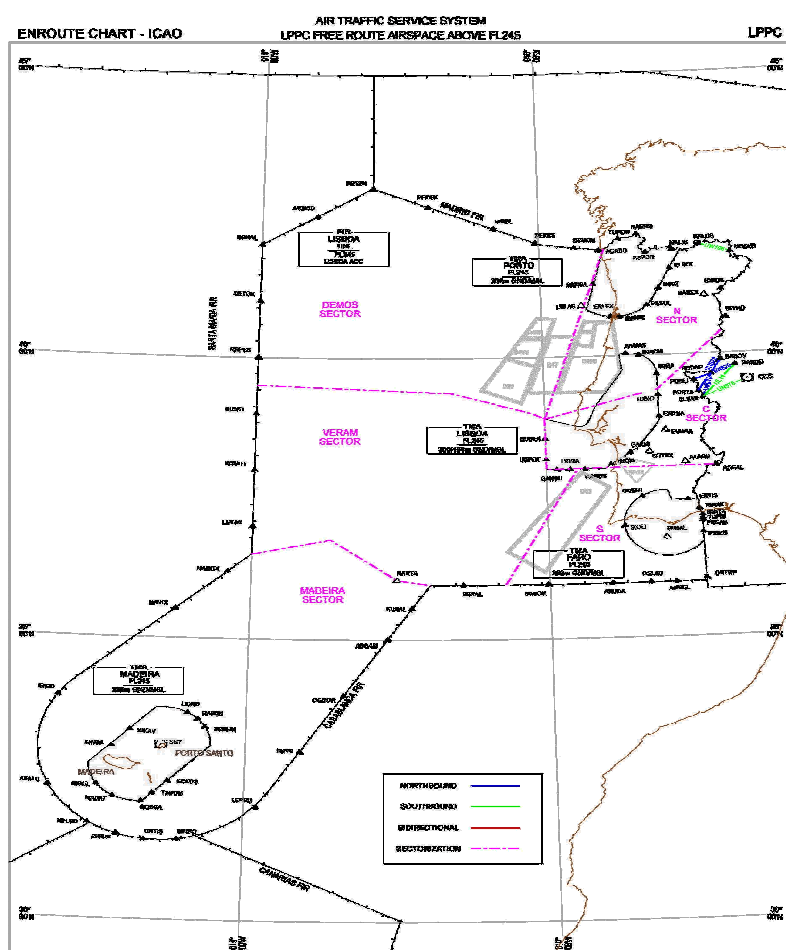


Figura 1 – Mapa com as regiões de voo controladas pela NAV.

### **1.3 Equipa de Trabalho**

O estágio decorreu dentro da NAV na DSTI – Direcção de Sistemas e Tecnologias de Informação, direcção esta que tem como missões principais:

1. Realizar estudos técnicos e acompanhar o funcionamento dos Sistemas de Apoio à Gestão do Tráfego Aéreo, em observância às normas nacionais e internacionais aplicáveis ao sector.
2. Preparar planos de desenvolvimento, assegurando a inscrição dos projectos desta área nos Planos de Investimentos e de Actividades.
3. Desenvolver os projectos referentes aos Investimentos Estratégicos e de Desenvolvimento Operacional na área ATM, assegurando a entrega do produto final ao utilizador, em cumprimento com os requisitos de qualidade, prazo e custo definidos.
4. Assegurar a representação da NAV Portugal em organismos nacionais e internacionais nas matérias de âmbito técnico no domínio ATM.

A DSTI é constituída por 4 serviços principais, sendo eles, a área de produção de software para sistemas (SISPRO), a área de interface com o utilizador (SISINT), a área de logística (SISLOG) e a área de gestão de qualidade e safety (SISQUA).

Este estágio será realizado no contexto do serviço SISPRO, que tem como responsável do serviço o Eng. José Vermelhudo, coordenador do estágio. As missões e objectivos principais deste serviço são:

- Definir a arquitectura dos sistemas ATM e das diversas ferramentas de apoio ao Controlo de Tráfego Aéreo de acordo com os requisitos operacionais.
- Realizar projectos de desenvolvimento de sistemas e de software operacional

### **1.4 Integração na Empresa**

Após tomar conhecimento sobre o plano de negócio da empresa e o funcionamento da mesma, perceber como e para que são usados os sistemas existentes e quais as suas características mais gerais, foi também apresentada dentro do serviço SISPRO na DSTI uma visão geral sobre as metodologias de trabalho utilizadas. De seguida deu-se início

às formações nos sistemas usados actualmente na DSTI e também uma formação na área de gestão de qualidade:

- Introdução ao Controlo de Tráfego Aéreo
- Formação no Sistema LISATM
- Formação de Qualidade – POP20 [4]
- Sistemas Data Link – CPDLC – Controller Pilot Data Link Communication
- Formação Técnica ASD – Air Situation Display
- Formação Técnica DLS – Data Link Server

Todas estas formações se dividiram numa componente individual que passou pela leitura de documentação acerca desse sistema, subsistema ou funcionalidade e numa componente designada de estudo acompanhado que consiste em apresentações e reuniões de esclarecimento de dúvidas acerca destes sistemas. Nestas apresentações e reuniões esteve também presente um outro estagiário, cujo trabalho desenvolvido tem partes em comum com o trabalho descrito neste relatório, nomeadamente no facto de serem necessárias alterações ao produto ASD. Foi também dado a conhecer o objectivo do projecto, que será descrito na secção seguinte.

## **1.5 Objectivos**

O objectivo do presente trabalho é estudar e desenvolver uma solução que permita a evolução do HMI – Human Machine Interface – para o simulador do LISATM – Lisbon Air Traffic Management System – desenvolvido pela NAV, de modo a que este possa incluir a tecnologia Data Link. O trabalho passa então numa primeira fase por analisar todo o sistema existente de forma a definir-se qual a melhor maneira de evoluir a arquitectura do mesmo, sem prejudicar o sistema actual. Esta análise mostrar-se-á vantajosa pois vai ajudar a compreender qual a melhor maneira de implementar a tecnologia, usando componentes que já fazem parte do sistema actual ou criando novos. É necessário também estudar todas as interfaces do sistema pois algumas destas podem ser aproveitadas para a implementação da tecnologia. Após estarem definidas as alterações à arquitectura do sistema, é necessário desenvolver dois protótipos que demonstrem o funcionamento da tecnologia Data Link, ou seja, que permitam a um controlador ver que uma aeronave tem capacidade Data Link, e que estabeleça contacto com a mesma quando esta está ligada ao sistema de terra. Os dois protótipos serão desenvolvidos na posição de Pseudo-Pilot no SIMATM [5] e no HMI do ASD. Durante

o desenvolvimento e software vão ser estudados alguns protótipos já desenvolvidos e ainda as normas de implementação existentes. Deste modo, esta análise irá ser igualmente vantajosa, pois os protótipos existentes já foram alvo de uma avaliação por parte do cliente, ou seja, os controladores de tráfego aéreo. Após a definição correcta da arquitectura e das interfaces é necessário desenvolver as interfaces entre os vários componentes do sistema de forma a demonstrar o funcionamento da tecnologia Data Link.

## **1.6 Organização do documento**

Este documento está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 2 – Enquadramento: capítulo onde se pode ver um enquadramento geral sobre o trabalho a realizar. Uma secção sobre a tecnologia Data Link, outra secção sobre todo o sistema existente na NAV relevante para o projecto, e uma secção sobre o levantamento de requisitos realizado para o projecto.
- Capítulo 3 – Definição do Sistema: capítulo onde se pode ver todo o trabalho realizado na definição da arquitectura do sistema e das suas interfaces.
- Capítulo 4 – Concretização: capítulo onde se pode ver todo o trabalho realizado a nível de desenvolvimento.
- Capítulo 5 – Resultados/Testes: capítulo onde se podem ver todos os testes realizados ao longo do projecto, bem como os testes finais de sistema e todos os resultados desses testes.
- Capítulo 6 – Conclusão: capítulo onde se pode ver uma conclusão acerca do trabalho realizado, nomeadamente no que respeita às expectativas iniciais e quais foram atingidas, entre outras aspectos.



## **Capítulo 2**

### **Enquadramento**

#### **2.1 Data Link**

##### **2.1.1 Introdução**

O Data Link é uma tecnologia que permite o contacto entre pilotos e controladores através de mensagens escritas pré-definidas, em complemento com a tradicional comunicação por voz. Apresenta-se deste modo, como um segundo canal de comunicação. As mensagens Data Link estão pré-formatadas e normalizadas o que faz com que a sua composição e leitura seja fácil. Tendo em conta que muita da informação enviada hoje em dia pelo controlo de tráfego é informação táctica e não muito urgente, torna-se possível fazer esta troca de informação sem recorrer a frequências adicionais de rádio, sendo a comunicação por voz usada para situações de urgência ou situações tácticas como os processos de descolagem e aterragem. Como já referido, o espectro de frequências é um bem escasso e é necessário racionalizar o seu uso pois o seu limite pode ser atingido num futuro muito próximo.

##### **2.1.2 Vantagens**

O Data Link vem ajudar a libertar em muito o uso das frequências de rádio, sendo essa a sua principal vantagem. A isto acrescem outras três vantagens, que vão fazer com que os custos no controlo de tráfego sejam bastante reduzidos, como se pode ver na figura 2.

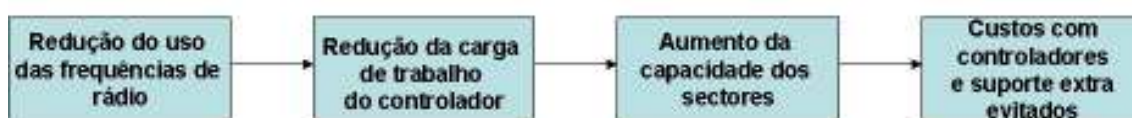


Figura 2 – Principais vantagens na implementação dos serviços Data Link

Como se pode observar na figura a redução do uso das frequências leva a uma redução da carga de trabalho do controlador, uma vez que é mais fácil ler e enviar mensagens pré-definidas do que a comunicação voz. Por sua vez essa redução da carga de trabalho do controlador permite que se aumentem as capacidades do sector, ou seja, um controlador pode controlar mais aeronaves ao mesmo tempo, o que por sua vez leva à redução de custos pois não são precisos mais controladores nem o suporte aos mesmos.

Para além destas vantagens, o Data Link traz ainda outras, tais como, o aumento da segurança, e uma maior eficiência do serviço. [6]

Em termos de segurança o Data Link traz melhoramentos, pois oferece uma alternativa de comunicação, permitindo a comunicação entre controlador e tripulação duma aeronave quando a frequência está ocupada. A possibilidade de má interpretação duma mensagem é inexistente pois tratam-se de mensagens escritas pré-formatadas como explicado anteriormente. No caso da comunicação por voz é possível existir má interpretação devido ao ruído que é constante, bem como o elevado número de sotaques presentes no meio.

No que respeita à eficiência do serviço, esta aumenta, pois todas as mensagens estão escritas e não vai ser necessário ao piloto ou ao controlador usar a expressão “SAY AGAIN?”<sup>1</sup>, pois não há má interpretação das mensagens. Como as mensagens são lidas a carga de trabalho quer para pilotos, quer para controladores é reduzida.

O único ponto que se pode considerar uma desvantagem é o facto deste tipo de comunicação não ter a velocidade duma comunicação de voz e também por exemplo, o facto de não ser possível expressar emoções em caso de perigo iminente. Mas como já referido várias vezes, o Data Link vai ser usado para transmissão de mensagens de baixa urgência e a comunicação por voz pode sempre ser usada para confirmar essas mesmas mensagens.

---

<sup>1</sup>Expressão usada pelos pilotos e controladores quando não entendem uma comunicação recebida para confirmarem a mesma.

### **2.1.3 Funcionamento**

Para uma aeronave e o sistema de terra comunicarem através de Data Link é necessário que exista um processo de ligação entre as duas entidades. Este processo é designado de Logon e faz parte do serviço DLIC – Data Link Initiation Capability. Uma aeronave faz o Logon no intervalo de 30 minutos antes de atingir o espaço aéreo do ATCC – Air Traffic Control Center – a que se vai ligar. Este pedido de Logon é realizado pelo piloto, sendo o restante de todo o processo transparente para piloto e controlador. É o sistema de terra e não o controlador que valida o pedido de Logon através da confirmação de dados recebidos da aeronave. Após esta validação por parte do sistema de terra, há ainda uma resposta automática do sistema do avião a confirmar a ligação.

Após a iniciação do serviço descrita acima, tanto controlador como piloto podem tentar estabelecer uma ligação CPDLC – Controller Pilot Data Link Communication – para poder ser iniciada uma troca de mensagens entre as duas entidades. Depois de confirmada esta ligação, o sistema de terra recebe automaticamente uma notificação do tipo CDA – Current Data Authority – que serve para indicar ao controlador que a aeronave está pronta para comunicar via CPDLC, e que garante que apenas um CDA tem o controlo do voo.

### **2.1.4 Comunicação**

A comunicação no Data Link é feita através da rede ATN – Aeronautical Telecommunications Network [7] – uma rede pensada e desenvolvida para disponibilizar um leque de capacidades que satisfaçam os requisitos dos prestadores de serviços de tráfego aéreo e dos seus utilizadores. O alcance destas capacidades varia desde a troca de dados a baixa velocidade à troca de dados e voz a alta velocidade, sendo a transmissão de dados cada vez mais utilizada na comunicação com as aeronaves.

A rede ATN integra vários meios de comunicação, entre eles:

- AMSS – Aeronautical Mobile Sattelite Service
- VDL – VHF (Very High Frequency) Data Link
- SSR Mode S – Secondary Surveillance Radar Mode S

A rede ATN é uma rede baseada no modelo OSI – Open System Interconnection – e que contém todas as suas camadas como se pode ver no diagrama seguinte.

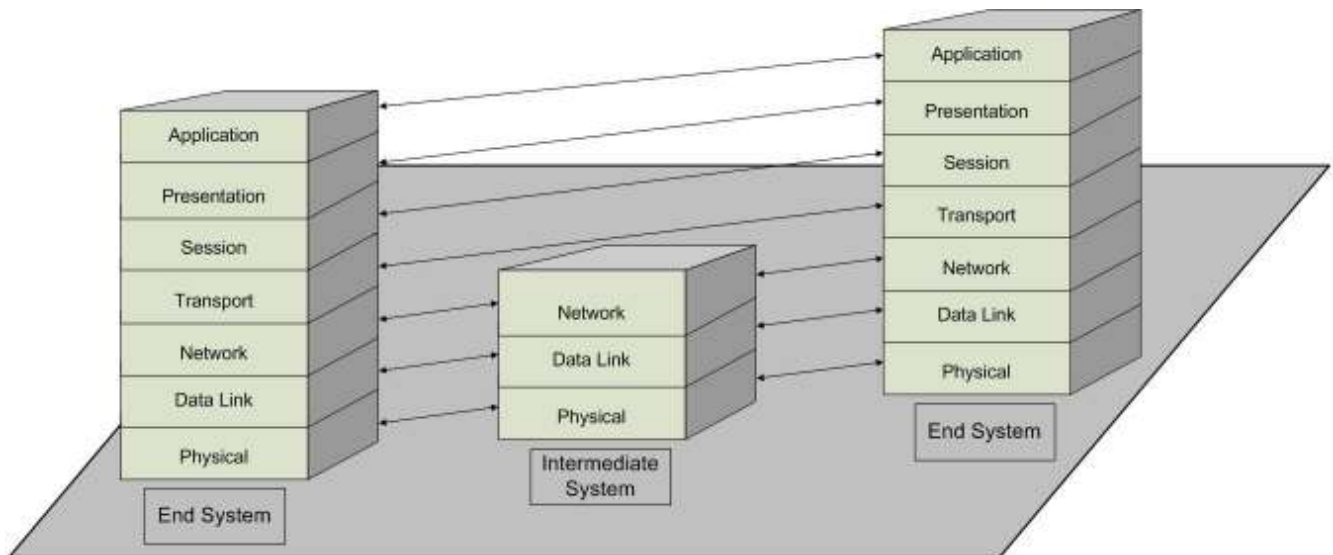


Figura 3 – Modelo OSI no contexto ATN.

O modelo OSI como se sabe é um modelo de camadas e identifica dois tipos de sistemas como podemos ver na imagem anterior:

- End Systems (ES): os utilizadores dos serviços da rede, que incluem sete camadas do modelo, prestando serviços de comunicação para as aplicações.
- Intermediate Systems (IS): routers ou switches, que incluem apenas três camadas do modelo referentes às comunicações na rede.

Os End Systems podem comunicar entre si directamente, ou através de um ou mais Intermediate Systems.

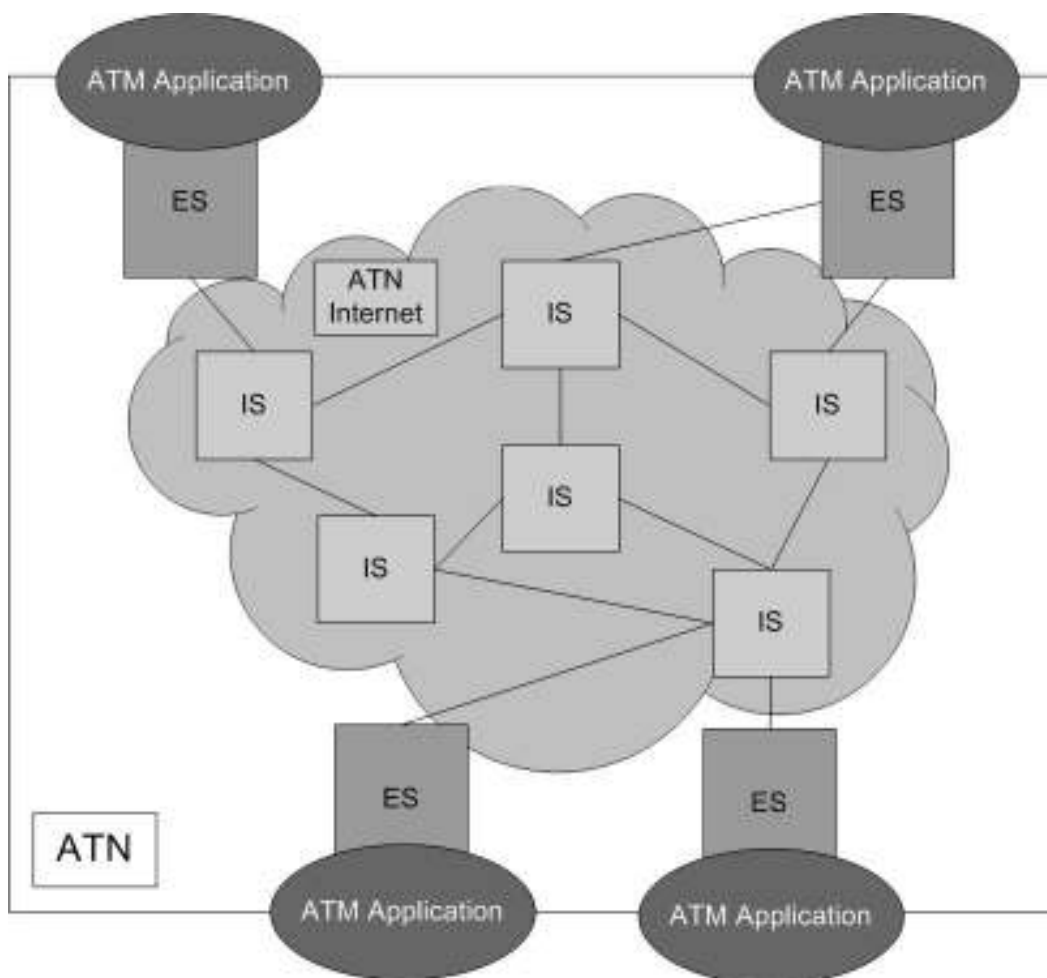


Figura 4 – Diagrama da Rede ATN.

A rede ATN, como se pode observar na figura engloba os seguintes componentes funcionais:

- End Systems (ES)
- Intermediate Systems (IS)
- Sub-redes Terra-Terra
- Sub-redes Ar-Terra

A função do End System na rede ATN consiste em disponibilizar à aplicação do utilizador, o LISATM, por exemplo, uma interface para esta comunicar remotamente com outras aplicações na rede, como o servidor da SITA – Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques – que é o ACSP – Air Communications Service Provider – da rede ATN.

A função do Intermediate System na rede ATN consiste na transmissão da informação entre as várias sub-redes ATN (terra-terra e ar-terra), para permitir aos End

Systems a troca de dados mesmo quando estes não estão directamente ligados à mesma sub-rede ATN.

O End System que liga o LISATM (ATM Application) à rede ATN é o DLS – Data Link Server. É através dele que é feita toda a comunicação com a SITA e as aeronaves através de Data Link. As mensagens que saem do LISATM ou das aeronaves passam sempre primeiro pelo servidor da SITA antes de chegarem ao seu destino, o DLS faz a ligação do ATCC de Lisboa com a SITA.

### 2.1.5 Serviços Data Link

O Data Link disponibiliza quatro serviços, definidos no documento de especificação dos serviços Data Link do EURCONTROL [8]:

- DLIC – Data Link Initiation Capability: serviço Data Link que disponibiliza a informação necessária para tornar possível a comunicação por Data Link entre um ATSU – Air Traffic Service Unit – e uma aeronave. Permite a associação de informação de voo proveniente da aeronave com informações de plano de voo existentes no sistema de terra. O serviço DLIC é iniciado nas aeronaves e engloba duas funções:
  - Logon: serve para iniciar o serviço Data Link.

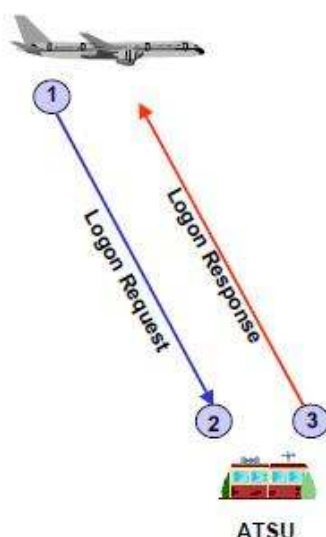


Figura 5 – Diagrama da função de Logon do serviço DLIC

### Descrição do método de operação da função de Logon:

1. A tripulação inicia um pedido de Logon.
  2. O sistema de terra tenta associar a informação recebida com os planos de voo para validar o pedido.
  3. O sistema de terra envia uma resposta ao pedido de Logon para a aeronave.
- Contact: serve para o sistema de terra pedir a uma aeronave para fazer logon com outro ATSU.

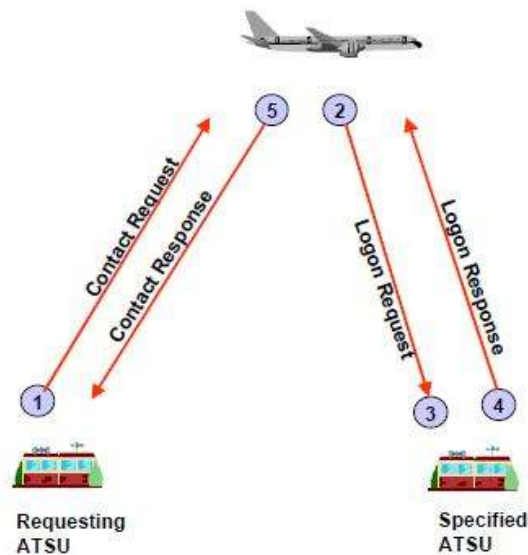


Figura 6 – Diagrama da função de Contact do serviço DLIC

### Descrição do método de operação da função Contact:

1. O sistema de terra que vai cessar a comunicação Data Link envia um Contact Request com informação ATSU a contactar por parte da aeronave.
2. O sistema da aeronave envia automaticamente um pedido de Logon para o sistema de terra especificado.
3. O sistema de terra tenta associar a informação recebida com os planos de voo para validar o pedido.
4. O sistema de terra envia uma resposta ao pedido de Logon para a aeronave.

5. O sistema da aeronave envia uma Contact Response para o ATSU a cessar a comunicação.

Os outros três serviços descritos fazem parte dum outro serviço denominado CPDLC – Controller Pilot Data Link Communication – e são apenas executados após uma ligação CPDLC activa:

- ACM – ATC Communications Management: serviço que providencia assistência automática à tripulação da aeronave e aos controladores para conduzir a transferência de comunicação, voz e CPDLC, para outro sector. Permite o estabelecimento e término do serviço CPDLC entre uma aeronave e um ATSU e a transferência da comunicação voz de um ATSU para outro de modo transparente.

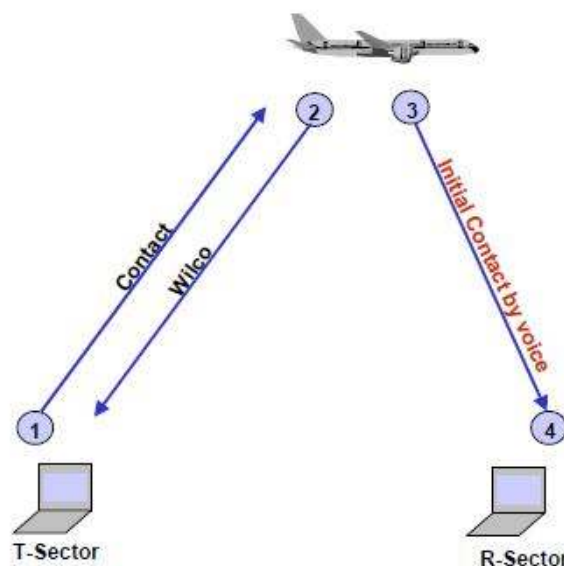


Figura 7 – Diagrama da mensagem Contact do serviço ACM

#### **Descrição do método de operação da função Contact:**

1. O controlador do sector-T envia uma mensagem Data Link do tipo Contact indicando à tripulação da aeronave que transfira a comunicação voz para o canal de voz especificado do sector-R. No conteúdo desta mensagem vai a frequência a contactar pela tripulação.



2. A tripulação da aeronave recebe a mensagem de Contact e responde com um WILCO – Will Comply – via CPDLC para o controlador do sector-T.
  3. Após enviado o WILCO a tripulação sintoniza a nova frequência de rádio e contacta o sector-R por comunicação voz.
  4. O sistema de terra notifica o controlador do sector-R quando o CPDLC estiver activo.
- ACL – ATC Clearances: serve para troca de mensagens para instruções operacionais como alterações de nível de voo ou rota por exemplo. Permite ao piloto fazer requests e reports ao controlador do sector responsável, permitindo também a este o envio de clearances, instruções e notificações para a tripulação. É um serviço para ser usado em situações não críticas e pode ser usado em vez de, ou em combinação com a tradicional comunicação por voz. Serviço só disponível após execução com sucesso do serviço ACM.

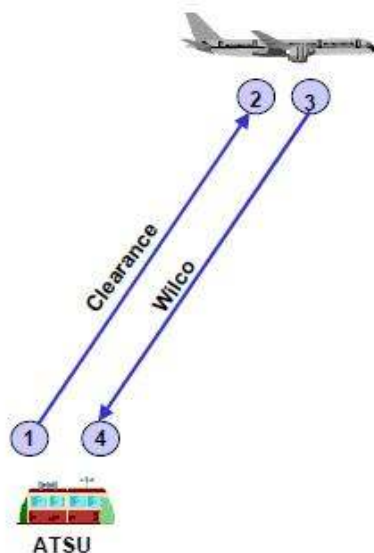


Figura 8 – Diagrama de uma ACL do controlador para a aeronave

### Descrição do método de operação da função Contact:

1. O controlador envia uma mensagem Data Link do tipo Clearance para a tripulação da aeronave iniciando um diálogo ACL.
2. A tripulação é notificada quando a aeronave recebe a Clearance.
3. A tripulação responde com WILCO.
4. O controlador recebe uma notificação quando recebe o WILCO.

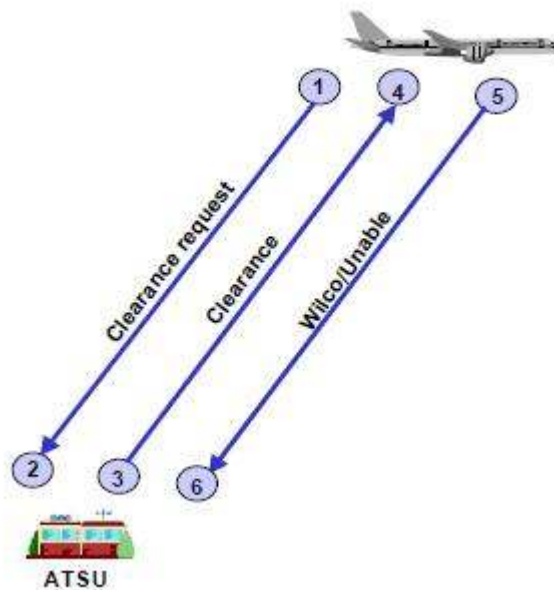


Figura 9 – Diagrama de uma ACL da aeronave para o controlador

### Descrição do método de operação da função Contact:

1. A tripulação envia um request iniciando um diálogo ACL.
2. O controlador é notificado quando recebe o request.
3. O controlador responde com a clearance. A clearance pode ser diferente do request.
4. A tripulação é notificada quando a aeronave recebe a clearance.
5. A tripulação responde com WILCO ou UNABLE.
6. O controlador recebe uma notificação quando recebe WILCO ou UNABLE.

Em ambos os casos, para além de WILCO e UNABLE, controlador e tripulação podem responder também com STAND BY, e mais tarde responder com WILCO ou UNABLE no caso da tripulação, ou envio da Clearance ou UNABLE no caso do controlador.

- AMC – ATC Microphone Check: serve para o controlador enviar uma instrução para todas aeronaves com CPDLC que estão sob o seu controlo, ao mesmo tempo, para ordenar a tripulação da aeronave que verifique se o seu equipamento de comunicação não está a bloquear o canal de voz correspondente ao sector em causa. Também só está disponível depois da execução do serviço ACM.

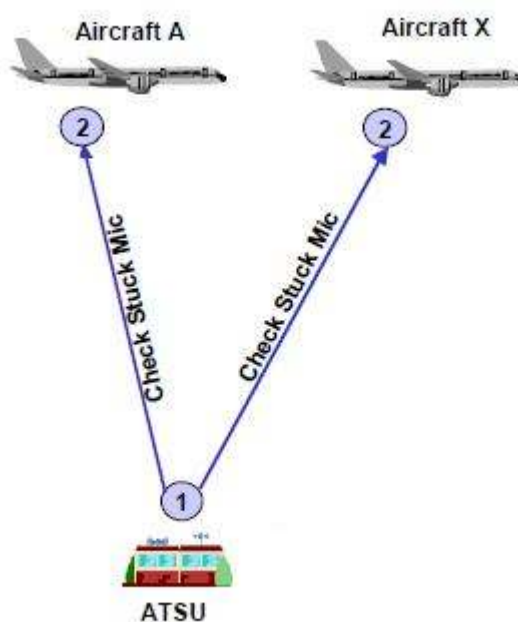


Figura 10 – Diagrama do serviço AMC

#### **Descrição do método de operação da função Contact:**

1. Uma instrução para verificar um microfone bloqueado é enviada para todas as aeronaves com capacidade CPDLC sob a responsabilidade do controlador.
2. As tripulações recebem a notificação da mensagem AMC e verificam os seus equipamentos de comunicação para determinar se são os responsáveis pelo bloqueamento da frequência.

### **2.1.6 Mensagens**

Todos os serviços descritos em cima englobam um conjunto de mensagens para cumprir esse mesmo serviço, compostas por mensagens do sistema de terra para as aeronaves e no sentido contrário, denominadas de Uplink Messages e Downlink Messages respectivamente [9]. Estas mensagens podem ser pedidos ou relatórios de estado enviados pelos pilotos das aeronaves para o controlador, ou instruções ou comunicações enviadas pelo controlador para esses mesmos pilotos.

Todas as mensagens passíveis de serem trocadas em cada um destes serviços estão descritas no Anexo A deste documento.

## **2.2 Projecto Data Link – Descrição do Problema**

Como descrito na secção da motivação, para satisfazer determinadas necessidades operacionais como a redução das comunicações por voz, é necessário adicionar novas tecnologias/funcionalidades ao sistema LISATM. A tecnologia/funcionalidade que vai satisfazer essa necessidade é precisamente o Data Link. A validação e os testes desta ou de outra nova tecnologia/funcionalidade são mais eficientes se for usado um ambiente integrado de simulação como o SIMATM, em que são gerados os dados que são requeridos para os testes, em vez de ser usado um conjunto de dados estáticos preparados previamente para o efeito.

O trabalho a realizar corresponde precisamente a evoluir o SIMATM – Simulador ATM – de forma a incluir no mesmo a tecnologia Data Link. É necessário portanto evoluir o SIMATM no seu bloco de simulação e no seu bloco de treino, cujas funções e propriedades vão ser descritas mais à frente. No bloco de simulação, vão ser evoluídas as posições de SIMGS – SIMATM Game Supervisor – e SIMPP – SIMATM Pseudo-Pilot – para ser possível simular aeronaves com capacidade Data Link e pilotos a controlar essas aeronaves. No bloco de treino vai ser evoluído o ASD – Air Situation Display que é o HMI – Human Machine Interface – do controlador e que vai permitir ao mesmo ver que uma aeronave tem ligação Data Link estabelecida e iniciar uma comunicação CPDLC – Controller Pilot Data Link Communication – com a mesma, para comunicar com os pilotos nas posições de SIMPP do SIMATM que controlam essa aeronave.

As alterações a realizar nestes dois blocos do SIMATM passam pela realização de protótipos que demonstrem o funcionamento da tecnologia Data Link. Já existem entre estes dois blocos várias interfaces definidas para realizar outros procedimentos

operacionais existentes na NAV, no entanto, é necessário definir uma interface entre estes dois blocos para a troca de mensagens CPDLC entre os dois. Como o Data Link se trata de troca de mensagens entre sistema de terra/controlador e aeronave/piloto, e um controlador não controla apenas uma aeronave, nem existe apenas uma posição de controlo na sala de controlo existente na NAV, a interface entre os dois componentes, não será directa.

Vai ser desenvolvido então o DLP – Data Link Processor – que vai ser uma tarefa no sistema que vai tratar toda a comunicação entre sistema de terra/controlador e aeronave/piloto, neste caso representados pelo SIMATM e o ASD respectivamente. Para a interface entre os vários componentes definidos vai ser usado o protocolo xmlRac – xml Register-Alive Connection, um protocolo desenvolvido na NAV e que vai ser explicado mais à frente.

## **2.3 Sistema Existente**

### **2.3.1 LISATM – Lisbon Air Traffic Management System**

O LISATM [10] é o sistema de controlo de tráfego usado actualmente no ATCC – Air Traffic Control Center de Lisboa e nas torres de controlo de todo o Continente e Madeira. Tem um componente que disponibiliza um HMI – Human Machine Interface – que permite ao controlador ter uma vista de radar com várias informações, tais como, a posição das aeronaves, a sua identificação, velocidade, rota, plano de voo, etc... Para além de informações sobre as aeronaves, o controlador tem à sua disponibilidade também, informações sobre meteorologia e sobre o aeroporto, entre outras, através de outros componentes do sistema que tem à sua disposição no seu CWP – Controller Working Position. Para garantir todos estes serviços, o LISATM tem à sua disposição várias entidades externas e internas, com as quais interage para obter e fornecer dados e informações importantes para o sistema e para o controlo de tráfego.

Para além destas entidades o LISATM dispõe de vários componentes internos que fazem a gestão de toda esta informação.

É lógico considerar o LISATM como um sistema crítico sendo portanto conveniente que exista um sistema de recurso para quando este falha, o que pode conduzir a um resultado catastrófico. Por esta razão foi desenvolvido um sistema fallback – LISATM Fallback System.

### **2.3.2 LISATM Fallback System**

O Fallback System tem como principal função, como o próprio nome indica, funcionar como um backup do sistema operacional caso este falhe. É um sistema quase idêntico ao Main System estando apenas alguns componentes duplicados para manter uma reserva.

### **2.3.3 ASD – Air Situation Display**

O ASD [11] é a aplicação dentro do Fallback System que disponibiliza o HMI do controlador. Este projecto foi iniciado devido à necessidade de existência de um sistema de reserva ao LISATM desenvolvido noutra tecnologia. O ASD está desenvolvido em Java ao contrário do ODS que está desenvolvido em ODS-Toolbox. Tem o mesmo aspecto gráfico que o ODS e disponibiliza a maior parte das suas funcionalidades também. Como descrito em cima para o ODS, a função principal é disponibilizar ao controlador uma vista de radar com capacidade de interacção por parte do utilizador, ou seja, é um HMI – Human Machine Interface – para o controlador.

É a ferramenta mais importante no trabalho do controlador. Para além de fazer parte do LISATM Fallback System. O ASD faz ainda parte do bloco de treino do SIMATM disponibilizando assim uma posição de controlo para dar formação a novos controladores e para testar novas tecnologias.

### **2.3.4 SIMATM – Simulador ATM – Air Traffic Management**

O SIMATM [12] é um Simulador ATM de nova geração desenvolvido pela NAV para desempenhar duas funções principais: funcionar como um ambiente integrado de simulação para testes do sistema LISATM e ser utilizado na formação de novos controladores em Pre-OJT – Pre On Job Training – permitindo deste modo que os mesmos possam ter uma vista do sistema tal e qual como ele existe na realidade, sem existirem os perigos inerentes à sua inexperiência em operá-lo. Pode também ser usado para treinar controladores já certificados em novas tecnologias ou procedimentos que possam surgir, como se explica a seguir. O treino apresenta várias vertentes, entre elas:

- Nova estrutura do espaço aéreo
- Novos procedimentos operacionais
- Actualização do sistema
- Refrescamento de procedimentos operacionais em uso

- Situações operacionais pouco frequentes
- Novas qualificações dentro da carreira de controlador

O SIMATM divide-se assim em dois blocos principais com as funções descritas anteriormente, são eles:

- Bloco de treino – réplica do LISATM: este subsistema é composto por uma réplica parcial do sistema LISATM, que tem exactamente o mesmo comportamento que pode ser observado operacionalmente num CWP – Controller Working Position. É alimentado pelo sistema de simulação que lhe fornece todos os dados, como os dados de radar, planos de voo, etc...

- Bloco de simulação – SIMATM: este subsistema tem como objectivo recriar o que se passa no mundo real, alimentando o sistema de treino com dados gerados a partir de cenários de tráfego aéreo previamente definidos.

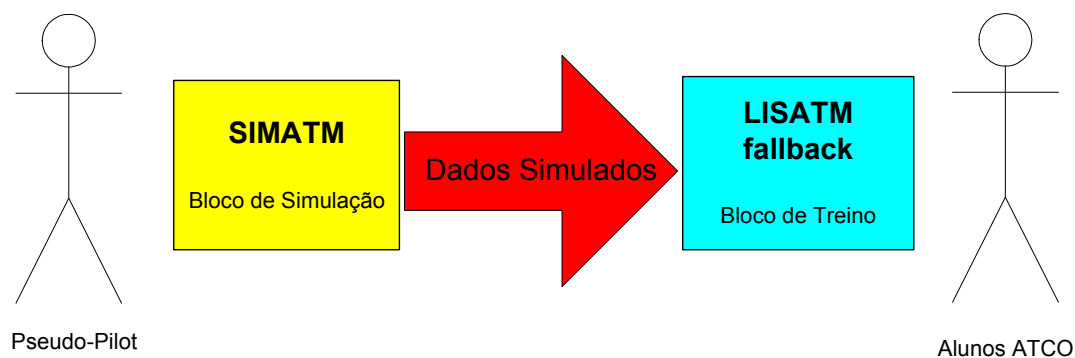


Figura 11 – Arquitectura do Sistema Pre-OJT / Arquitectura do sistema de testes LISATM

### 2.3.5 Basic System

O Basic System [13] é uma plataforma middleware que permite a troca de informação entre vários nós do sistema numa uniformização de comandos. É uma plataforma amplamente usada na NAV, grande parte do software usado na empresa utiliza os serviços oferecidos pelo middleware, para desempenhar várias tarefas, tais como, aceder às bases de dados distribuídas, permitir a comunicação e troca de informação entre os vários nós do sistema, entre outras.

### **2.3.6 XmlRac – Xml Resgister-Alive Connection**

O xmlRac [16] é um protocolo de comunicação baseado em XML que é usado como base para vários links do sistema. Como descrito anteriormente, foi um tipo de link desenvolvido na NAV e é usado num ambiente cliente-servidor que garante a entrega das mensagens a nível protocolar pois a sua interface é implementada usando uma socket UDP. Trata-se de um link bi-direccional, podendo haver troca de mensagens nos dois sentidos, sendo estas mensagens em formato XML.

O tempo entre as mensagens deve ser mais pequeno do que um Timeout previamente definido para o link em causa. Se este tempo for expirado o link deve ser considerado off-line.

### **2.3.7 DLS – Data Link Server**

O Data Link Server [17] como referido anteriormente, é um End System no contexto da rede ATN – Aeronautical Telecommunications Network. É o sistema que faz a interface da rede ATN com a firewall do LISATM. Regista todas as aeronaves que efectuem Logon com o nosso ATSU – Air Traffic Service Unit – e fazem a gestão de todas essas ligações do ponto de vista da interface, fazendo a gestão dos timeouts para cada tipo de mensagem trocada. Faz também a gestão do protocolo das ligações.

Implementa todas as operações ATN descritas na secção dos serviços Data Link e disponibiliza ainda umas tools ATN que não são mais do que um emulador para todas as mensagens englobadas no serviço ATN, nomeadamente as dos serviços descritos em cima.

### **2.3.8 ADI – ATM/DLS Interface**

O ADI [18] é uma tarefa que corre na firewall do LISATM que faz a interface entre o DLS – Data Link Server – e o LISATM. Trata-se de uma tarefa que tem como principal função fazer a filtragem e a distribuição de todas as mensagens provenientes do DLS para a tarefa correcta dentro do LISATM, consoante o tipo de serviço Data Link a que corresponde a mensagem. O ADI é portanto, um router aplicacional para todas as mensagens que chegam ao LISATM provenientes do DLS. Disponibiliza ainda um interface gráfico de supervisão e controlo, para se poderem controlar todas as mensagens que chegam e para onde estão a ser enviadas.



## 2.4 Levantamento de Requisitos

Devido à futura obrigatoriedade da funcionalidade Data Link, o EUROCONTROL já realizou vários estudos que validam a utilização desta tecnologia. Para além de alguns protótipos que mostram o funcionamento do Data Link, os quais serão usados como base para desenhar os protótipos descritos nos objectivos, o EUROCONTROL criou um documento de recomendações para a implementação do Data Link [9]. Os ANSP's – Air National Service Provider's – que aderiram ao programa Link2000+ devem respeitar este documento para implementar o Data Link nos seus sistemas ATM, a par do documento de especificações dos serviços Data Link, também preparado pelo EUROCONTROL [8].

Existe assim um conjunto de requisitos iniciais obtidos a partir destes documentos que devem ser respeitados pelos ANSP's que estejam comprometidos a implementar o Data Link na(s) sua(s) respectivas FIR's:

- Serviços Data Link a serem implementados: descritos anteriormente no capítulo 2 – descrição do Data Link: DLIC, ACM, ACL e ACM.
- Conjunto de Mensagens Data Link obrigatórias e opcionais para cada serviço: descritas as mensagens obrigatórias no capítulo 2 também e no Anexo A.
- Estrutura das Mensagens Data Link: campos que as mensagens devem conter, também descrito no capítulo 2 e no Anexo A nas tabelas das mensagens de cada serviço.
- Aspectos de Plano de Voo: aspectos relacionados com nova informação referente ao Data Link que tem de ser adicionada aos planos de voo, tal como, a versão das aplicações Data Link que as aeronaves têm instaladas. Quando uma aeronave se tenta ligar no LISATM devem ser comparadas estas informações para validar um pedido de Logon duma aeronave.
- Coordenação entre centros de controlo: aspectos relacionados com o protocolo OLDI – On Line Data Interchange – na transferência de controlo das aeronaves. Está relacionado com a função Contact do DLIC – Data Link Initiation Capability – descrita no capítulo 2, função essa que deve ser totalmente transparente para tripulação da aeronave e controlador, devendo estes ser apenas informados quando a transferência está concluída.
- Gravação das Mensagens Data Link: todas as mensagens Data Link trocadas entre aeronaves e sistema terra devem ser guardadas num formato

XML, definido pelo EUROCONTROL num documento que especifica o formato das mensagens Data Link que deve ser respeitado por todos os ANSP's [19]. Estas mensagens podem mais tarde ser consultadas para efeitos de investigação.

Para além destes existe ainda um conjunto de requisitos funcionais e não funcionais, referentes ao Data Link para o ASD e o SIMATM que vão ser descritos a seguir:

#### **2.4.1 Requisitos Funcionais ASD**

1. O controlador deve conseguir confirmar que uma aeronave está ligada ao sistema de terra, ou seja, efectuou com sucesso o Logon.
2. O controlador deve conseguir confirmar que uma aeronave está pronta para comunicar através de CPDLC.
3. O controlador deve conseguir iniciar uma ligação CPDLC com uma aeronave.
4. O controlador deve conseguir enviar Clearances para uma aeronave quando esta tem ligação CPDLC activa.
5. O controlador deve conseguir receber Requests duma aeronave e responder às mesmas com as mensagens UNABLE e STAND BY, ou com a resposta positiva na forma duma Clearance.
6. O controlador deve conseguir ver a qualquer instante o historial de mensagens CPDLC enviadas e recebidas.

#### **2.4.2 Requisitos Não Funcionais ASD**

1. Capacidade: o sistema deve permitir a ligação por Data Link das aeronaves no alcance estipulado para o mesmo e permitir a ligação CPDLC a todas as aeronaves com Logon bem sucedido e com as capacidades CPDLC desejadas.

2. Usabilidade: o sistema deve ser desenhado de acordo com as recomendações de usabilidade conhecidas. Estas são retiradas dos protótipos desenvolvidos pelo EUROCONTROL [20].
3. Fiabilidade: o sistema não deve falhar – quando uma mensagem não é entregue correctamente ou acontece um timeout, o sistema deve considerar a ligação Data Link corrompida e desligá-la.
4. Integridade: os dados devem ser entregues correctamente sem mudanças de estado.

No caso do SIMATM não existem protótipos que sirvam de base para retirar alguns requisitos, uma vez que os protótipos existentes são protótipos de HMI's para controladores. No entanto há requisitos que podem ser retirados da especificação da tecnologia Data Link:

#### **2.4.3 Requisitos Funcionais SIMATM**

1. O controlador na posição de piloto no SIMATM deve conseguir enviar um pedido de Logon das aeronaves que está a controlar como piloto.
2. O controlador na posição de piloto deve conseguir confirmar que as aeronaves que está a controlar como piloto estão prontas para receber pedidos de iniciação de serviço CPDLC.
3. O controlador na posição de piloto deve conseguir responder a um pedido de iniciação de serviço CPDLC enviado por um controlador.
4. O controlador na posição de piloto deve conseguir enviar Requests para o controlador quando existe ligação CPDLC activa.
5. O controlador deve conseguir receber Clearances dum controlador e responder às mesmas com as mensagens WILCO, UNABLE e STAND BY.

#### **2.4.4 Requisitos Não Funcionais SIMATM**

1. Capacidade: o sistema deve permitir a ligação por Data Link das aeronaves no alcance estipulado para o mesmo e permitir a ligação CPDLC a todas as aeronaves com Logon bem sucedido e com as capacidades CPDLC desejadas.

2. Usabilidade: o sistema deve ser desenhado de acordo com as recomendações de usabilidade conhecidas e respeitar o modelo de desenvolvimento existente no SIMATM.
3. Fiabilidade: o sistema não deve falhar – quando uma mensagem não é entregue correctamente ou acontece um timeout, o sistema deve considerar a ligação Data Link corrompida e desligá-la.
4. Integridade: os dados devem ser entregues correctamente sem mudanças de estado.

Temos de igual modo um conjunto de requisitos locais, que para além de seguirem os anteriormente descritos, caracterizam mais especificamente requisitos relacionados com o sistema de ATM em vigor na NAV – o LISATM. Estes requisitos estão mais relacionados com a arquitectura existente e como estão ligados os vários nós dessa arquitectura. Toda a troca de mensagens Data Link entre os vários componentes a desenvolver deverá respeitar a forma como a comunicação entre os vários nós do LISATM é realizada. Deste modo, pode-se dizer que os requisitos locais são os requisitos de cada componente a ser evoluído, excepto no caso do DLP que é um componente que vai ser desenvolvido de raiz, e portanto, para além de ter que respeitar os requisitos para integrar o sistema LISATM, deverá ter um conjunto de requisitos próprios. Esses requisitos que vão ser descritos de seguida estão também todos descritos num documento criado durante o estágio designado de DLP – SRS (Software Requirement Specification) [21]. Os requisitos de cada componente do sistema estão descritos nos documentos internos que definem esse mesmo componente.

#### **2.4.5 Requisitos Funcionais DLP**

1. Pedidos de Logon:
  - O DLP deve consultar uma base de dados Blacklist para saber se a aeronave que faz o pedido está autorizada a estabelecer ligações Data Link com o ATCC – Air Traffic Control Center – de Lisboa.
  - O DLP deve comparar os dados recebidos no pedido de Logon com os dados existentes no plano de voo correspondente à aeronave para validar o pedido de Logon.

- O DLP deve sempre que uma aeronave completa com sucesso um processo de Logon enviar uma notificação para o sector activo atribuído e em controlo no ASD.
2. Ligação CPDLC:
- O DLP deve encaminhar os pedidos de iniciação de serviço CPDLC proveniente dos controladores para as aeronaves correspondentes.
  - O DLP deve receber a resposta aos pedidos de iniciação do serviço CPDLC das aeronaves e enviá-la para o controlador correcto, ou seja, aquele que fez o pedido ao piloto para estabelecer a ligação CPDLC
3. Mensagens CPDLC – Controller Pilot Data Link Communication:
- O DLP deve encaminhar as mensagens CPDLC dos controladores (requests e respostas) para as aeronaves correspondentes.
  - O DLP deve encaminhar as mensagens CPDLC dos pilotos das aeronaves (requests, reports e respostas) para o sector correcto.
4. Mensagem AMC – ATC Microphone Check:
- O DLP deve garantir a entrega da mensagem AMC a todas as aeronaves sob a responsabilidade do controlador que envia a mensagem.

#### **2.4.6 Requisitos Não Funcionais DLP**

1. Capacidade: o DLP deve guardar sempre o estado de todas aeronaves com ligação Data Link e CPDLC para no caso de uma perda de ligação com o cliente ASD esta informação ser fornecida de novo.
2. Fiabilidade: o DLP deve garantir que todas as mensagens são entregues ao destinatário. No caso da ocorrência de timeouts a ligação CPDLC deve ser considerada corrompida e deve ser desligada.
3. Integridade: o DLP deve garantir que as mensagens CPDLC são entregues correctamente sem mudanças de estado, quer às aeronaves, quer aos controladores correctos.

A definição da arquitectura e dos componentes a desenvolver e suas interfaces está definida no capítulo seguinte.

## **Capítulo 3**

### **Definição do Sistema**

#### **3.1 Arquitectura**

Concluído o levantamento dos requisitos e o estudo do sistema existente, definição dos componentes a alterar e a implementar, chegou-se a uma definição de qual a melhor maneira de evoluir a arquitectura do sistema de modo a incluir a tecnologia Data Link. Tratando-se de uma evolução da arquitectura do LISATM, era necessário respeitar a estrutura existente e para isso foram feitas algumas escolhas que irão ser descritas de seguida.

Para além das alterações a efectuar ao SIMATM e ao ASD para a realização dos protótipos, era necessária a criação de um componente que fizesse a gestão das mensagens trocadas entre estes dois sub-sistemas do LISATM, tarefa essa que será realizada pelo DLP – Data Link Processor.

Vamos ter então o SIMATM a desempenhar o papel de piloto e aeronave no sistema, injectando mensagens Data Link para o DLP e este trata essas mensagens antes de as entregar ao controlador no ASD. Existe também o caminho inverso, com as mensagens do controlador para o piloto. O DLP trata da comunicação Data Link entre SIMATM e ASD, fazendo todo o processamento das mensagens Data Link.

O resto da informação relativa à definição da arquitectura é de conteúdo confidencial e não está disponível nesta versão pública do relatório.

## 3.2 Interfaces

Concluída a definição da arquitectura base, era necessário definir as interfaces entre os vários componentes antes de começar a implementação. Para além do documento DLP – SRS e de outros, foi então necessário realizar também um documento designado de DataLink – IRS (Interface Requirement Specification) [23] onde estão definidas as interfaces relacionadas com o projecto e a tecnologia DataLink, nomeadamente as interfaces entre o componente DLP e os componentes SIMATM e ASD. Neste documento podemos ver a definição da interface entre estes três componentes, o conjunto de mensagens trocadas entre os mesmos, e diagramas que representam a troca de mensagens Data Link a nível operacional.

O resto da informação relativa à definição das interfaces é de conteúdo confidencial e não está disponível nesta versão pública do relatório.

## Capítulo 4

### Concretização

#### 4.1 Decisões e Enquadramento

Após realizado todo o processo de levantamento de requisitos, definição da arquitectura e suas interfaces, deu-se início à fase de desenvolvimento. Algumas decisões tiveram que ser tomadas antes desta fase, nomeadamente, quanto ao modo como iam ser implementadas, quer as evoluções do SIMATM e do ASD, quer o DLP. As decisões e opções de implementação tomadas ao longo do estágio estão descritas de seguida:

##### 4.1.1 ASD – Air Situation Display – e SIMATM – Simulador ATM

Quanto ao SIMATM e ao ASD não havia qualquer dúvida em relação ao modo como evoluir os mesmos, pois ambos os produtos estão desenvolvidos em cima da Framework ASD que é tecnologia Java, e portanto a escolha recaiu sobre a mesma tecnologia. No que respeita ao padrão de desenho a utilizar na implementação, a framework ASD respeita o modelo MVC – Model View Controller [24] – e portanto também não havia muitas dúvidas em relação a isso. Restava apenas saber onde implementar as novas funcionalidades na aplicação e qual o conjunto de funcionalidades a inserir no protótipo.

No que respeita ao conjunto de funcionalidades decidiu-se que um protótipo que demonstrasse o funcionamento da tecnologia Data Link deveria permitir pelo menos um Logon numa aeronave, a iniciação do serviço CPDLC e uma troca de mensagens CPDLC.

Cada conjunto de componentes que representa uma funcionalidade na aplicação tem um package independente na aplicação e interliga depois como todos os outros necessários, deste modo, decidiu-se criar um package Data Link para conter todos os



componentes novos referentes ao Data Link. Dentro deste package ficaram as várias classes criadas ao longo do estágio para cumprir com as funcionalidades esperadas do Data Link. Mas para além destas classes criadas, foi como esperado, necessário evoluir outras classes já existentes para incluir a tecnologia.

Estas decisões de implementação surgiram após uma formação na Framework ASD na qual me foi dado a conhecer o funcionamento da mesma e como implementar uma nova funcionalidade ou alterar funcionalidades existentes no ASD. Após esta formação deu-se início à fase de implementação que pode ser consultada na secção seguinte.

#### **4.1.2 DLP – Data Link Processor**

Quanto ao DLP, este apresenta um conjunto de funcionalidades esperadas que levou a que a decisão sobre a tecnologia a usar no seu desenvolvimento fosse ponderada entre o Java e o C/C++.

A escolha pela tecnologia Java, tal como o SIMATM e o ASD teria a vantagem de todos os componentes referentes ao Data Link serem desenvolvidos na mesma tecnologia. No caso do C/C++ a vantagem seria o acesso às bases de dados descritas. Como este acesso é realizado através do middleware, ou seja, através do Basic System, e para um componente correr em cima do Basic System tem que ser desenvolvido em C/C++, o desenvolvimento nesta tecnologia teria esta vantagem.

Para além destas vantagens a nível de implementação, a outra vantagem do uso do C/C++ em detrimento do Java é, no contexto do estágio de Engenharia, a possibilidade de usar outra tecnologia para interagir com um tipo de sistema com o qual não tinha conhecimento algum.

A escolha acabou então por recair sobre o C/C++ porque o DLP necessita de fazer vários acessos a bases de dados e como já se referiu, é mais fácil se o componente estiver desenvolvido em C/C++ para correr em cima do Basic System.

Tal como no caso do ASD, após definido que este componente seria desenvolvido em C/C++ para o Basic System, houve também lugar a uma formação nesse ambiente de desenvolvimento no qual o objectivo era perceber como criar uma tarefa no Basic System e como interligá-la com outras no Basic System e mesmo com outros subsistemas do LISATM como por exemplo, o ASD. Após esta formação deu-se início à fase de implementação da tarefa que pode ser consultada na secção seguinte.

Tal como no caso do ASD, após definido que este componente seria desenvolvido em C/C++ para o Basic System, houve também lugar a uma formação nesse ambiente de desenvolvimento no qual o objectivo era perceber como criar uma tarefa no Basic

System e como interligá-la com outras no Basic System e mesmo com outros subsistemas do LISATM como por exemplo, o ASD. Após esta formação deu-se início à fase de implementação da tarefa que pode ser consultada na secção seguinte.

## **4.2 Implementação**

### **4.2.1 ASD – Air Situation Display**

Tendo em conta os três componentes a evoluir/desenvolver decidiu-se começar pelo protótipo do ASD – Air Situation Display – aquele que tem maior visibilidade pois trata-se da vista do controlador.

Para além do package criado para as classes referentes às funcionalidades Data Link, foi também necessário criar para o Data Link todos aqueles elementos explicados anteriormente, que são necessários para mostrar os dados na vista do controlador. Foram portanto criados as seguintes classes/elementos:

- Link: um link para a informação relativa ao Data Link, ou seja, o link a ser usado entre o ASD e o DLP.
- Client: cliente xmlRac que é configurado quando é criado o link para escutar esse mesmo link.
- Broker: broker para as mensagens que chegam do DLP serem encaminhadas para o processor correcto.
- Processor: foi criado um processor para cada uma das mensagens Data Link que chegam ao ASD, que estão definidas na interface entre DLP e ASD.
- Manager (Controller): foi criado um manager para gerir os objectos Data Link.
- Model: foi criado um modelo (objecto) Data Link que representa uma mensagem Data Link que entra no sistema.
- View: quanto às vistas, os principais requisitos eram a capacidade de visualização do estado Data Link duma aeronave e a visualização de todas as mensagens Data Link que entrassem e saíssem no/do ASD numa tabela de mensagens. O modo como o controlador vê que uma aeronave tem ligação Data Link e a tabela de mensagens Data Link vão ser explicados de seguida.

O resto da informação relativa à fase de implementação do ASD é de conteúdo confidencial e não está disponíveis nesta versão pública do relatório.

### 4.2.2 DLP – Data Link Processor

Após a conclusão de uma versão estável do ASD que foi testada através da injeção de mensagens XML como vai ser explicado mais à frente na secção de Resultados/Testes, começou-se o desenvolvimento do DLP – Data Link Processor.

O DLP é uma tarefa de interface entre o ASD e o SIMATM que trata do encaminhamento correcto das mensagens entre estes dois componentes, para além de outras tarefas como por exemplo, a validação do processo de Logon numa aeronave. Foi desenvolvido em C/C++ para poder estar integrado no Basic System, e por essa razão, foi também necessário respeitar um modelo de desenvolvimento. Foi necessário criar para o DLP um ficheiro de configuração onde está identificado o ID da tarefa e quais os seus argumentos de entrada, entre outras coisas. Para além desse ficheiro de configuração foi necessário criar ainda um makefile onde estão também definidos os caminhos para os compiladores dentro do Basic System e para as bibliotecas a usar na compilação da tarefa. Em termos funcionais foi depois necessário desenvolver algumas classes que vão ser explicadas de seguida.

O primeiro passo era criar o servidor xmlRac para o DLP poder comunicar com o ASD através da interface já explicada. O servidor foi criado na classe principal do DLP onde está também implementado todo o procedimento operacional, isto é, onde está também implementada a comunicação com as tools ATN [25] do DLS – Data Link Server, que substituem o SIMATM, e ainda todo o procedimento relacionado com as mensagens que chegam quer dum lado, quer do outro. Como explicado, o formato das mensagens a usar na interface entre DLP e ASD é XML e foi portanto necessário desenvolver também uma classe para codificar e decodificar todas as mensagens XML provenientes do ASD e codificar também no mesmo formato XML todas as mensagens provenientes das tools do DLS para enviá-las correctamente para o ASD.

Para além da ligação com o ASD foi necessário implementar a comunicação com as tools ATN – Aeronautical Telecommunications Network – do DLS. O ADI – ATM/DLS Interface – é o sistema que liga o DLS ao LISATM e encaminha as mensagens para a tarefa correcta consoante o serviço Data Link a que corresponde a mensagem. O ADI envia então para o DLP todas as mensagens referentes aos serviços DLIC e CPDLC descritos anteriormente. Estas mensagens são em formato ASN1 e são enviadas pelo ADI na forma de estruturas do tipo Tmsg que é o modo de comunicação entre as várias tarefas que correm em cima do Basic System.

Cada mensagem proveniente das tools do DLS é então distribuída pelo ADI para o DLP na forma de uma estrutura Tmsg, a qual é decodificada para se saber o seu tipo e depois codificada numa mensagem XML, consoante seja uma mensagem que represente

um Logon ou um request do piloto por exemplo. Após esta codificação em XML a mensagem é então enviada para o ASD.

Quanto às mensagens que chegam ao DLP provenientes do ASD são também decodificadas do formato XML para se saber o tipo de mensagem e depois codificadas no formato ASN1 para serem enviadas para as tools ATN do DLS. A codificação e decodificação das mensagens no formato ASN1 é feita através duma lib que o DLP usa quer permite codificar e decodificar todas as mensagens ASN1 que existem no contexto ATN.

O resto da informação relativa à fase de implementação do DLP é de conteúdo confidencial e não está disponíveis nesta versão pública do relatório.

### **4.2.3 SIMATM – Simulador ATM**

Apesar de fazer parte do planeamento inicial o desenvolvimento dum protótipo do SIMATM com as funcionalidades referentes ao Data Link, aquando da implementação do DLP chegou-se à conclusão que não haveria tempo para desenvolver o protótipo do SIMATM pois o tempo que sobrava não era muito.

Isto deveu-se à complexidade do trabalho desenvolvido até ao momento, ao tempo de estágio que foi usado em várias formações necessárias, pois trata-se dum contexto bastante complicado e de risco e é necessário conhecer bem todas as partes quer do negócio, quer dos sistemas em si, antes de se começar a mexer nos mesmos, e ainda à disponibilização de recursos que nem sempre era possível tão rápido quanto o desejado pois existem outros projectos em curso na empresa.

Havia então apenas metade do caminho completo no que respeita a uma comunicação Data Link, ou seja, não seria possível demonstrar uma troca de mensagens entre um piloto (SIMATM) e um controlador (ASD), no entanto, uma vez que um colega já tinha desenvolvido grande parte do ADI – ATM/DLS Interface – e que o DLS – Data Link Server – dispõe já de tools que permitem simular Logons e uma comunicação CPDLC com o sistema de terra, decidiu-se pôr o DLP a comunicar com o ADI para receber as mensagens das Tools do DLS que assim faz o papel que seria do SIMATM. Deste modo, é possível testar um caminho completo de troca de mensagens entre piloto (DLS Tools em vez do SIMATM) e controlador (ASD). Na secção de Resultados/Testes vai ser explicado melhor este ambiente de testes criado.

## **Capítulo 5**

### **Testes/Resultados**

Como parte integrante do modelo de desenvolvimento, elaborou-se o processo de testes, seguindo uma linha ascendente de abstracção. Desde o início, como durante toda a implementação, cada funcionalidade nova independente foi alvo de testes unitários.

À medida que os módulos iam sendo concluídos, elaboraram-se testes, que se dividiram em três fases. As duas primeiras fases foram compostas por testes de integração, primeiro envolvendo somente o ASD e de seguida, entre o ASD e o DLP. A última fase consistiu nos testes de integração e nos testes de sistema com o ASD, o DLP e o DLS usando as tools ATN.

#### **5.1 Testes de Integração**

##### **5.1.1 ASD (Air Situation Display)**

A primeira fase de testes aconteceu após a conclusão duma versão estável do ASD. Foram testadas todas as funcionalidades criadas na aplicação através de dados estáticos. Para testar o link criado, o broker, os processors, o manager dos objectos Data Link e todos os outros componentes desenvolvidos, foram criados ficheiros XML com as mensagens Data Link descritas na interface entre o DLP e o ASD e depois o ASD foi exercitado com essas mesmas mensagens. Podemos ver na figura seguinte um diagrama do ambiente de testes utilizado.

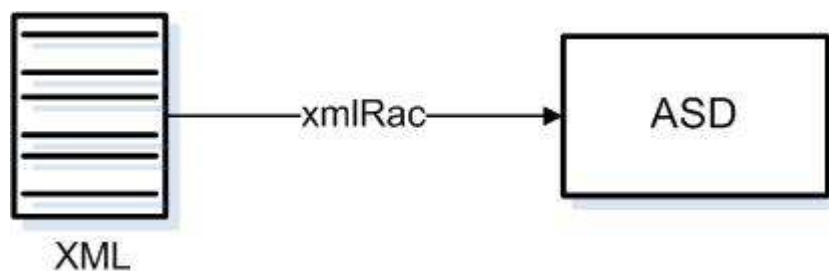


Figura 12: Ambiente de Testes da Fase 1 de Testes

Na tabela seguinte podemos ver uma descrição dos testes realizados nesta fase, para além do critério de passagem, e do resultado dos mesmos.

ID	Descrição	Critério	Resultado
1	Envio de mensagem log-notification para o ASD para testar o símbolo Data Link após recepção de logon.	Símbolo Data Link aparecer a cinzento ao lado do callsign da aeronave.	OK
2	Envio de mensagem de cpdlc-start-resp positiva para o ASD para testar o símbolo Data Link após o início do serviço CPDLC.	Símbolo Data Link passar de cinzento para verde.	OK
3	Envio de mensagem cpdlc-message com um Request Level duma aeronave para o ASD para testar funcionamento da tabela de mensagens.	Mensagem aparecer correctamente na tabela de Downlink Messages.	OK
4	Produção de mensagens cpdlc-start-req, cpdlc-end-req e cpdlc-messages com CFL, Unable e Standby do controlador para testar construção das mensagens no ASD.	Mensagens bem construídas no Log da aplicação.	OK
5	Envio de mensagem de cpdlc-end-resp positiva para o ASD para testar o símbolo Data Link após o término do serviço CPDLC.	Símbolo Data Link passar de verde para cinzento.	OK

Tabela 1: Testes realizados/Resultados no ambiente de Teste 1

### 5.1.2 DLP (Data Link Processor) – ASD

Após a conclusão do DLP foi necessário realizar testes à interface deste com o ASD, para poder testar todas as funcionalidades do ASD com mensagens ainda estáticas mas agora produzidas no DLP. Como já explicado, as mensagens chegam ao DLP do DLS em formato ASN1, na forma duma estrutura Tmsg e depois são decodificadas para uma estrutura própria que representa uma mensagem Data Link e depois, a partir dessa estrutura, é codificada a mensagem XML a enviar para o ASD. As mensagens estáticas foram então geradas a partir do preenchimento manual dessa estrutura, sendo todo o código da codificação em XML das mensagens e o envio das mesmas testado neste ambiente. Para além destes testes, testou-se ainda o código que decodifica as mensagens XML que chegam do ASD. Podemos ver na figura seguinte um diagrama do ambiente de testes utilizado.

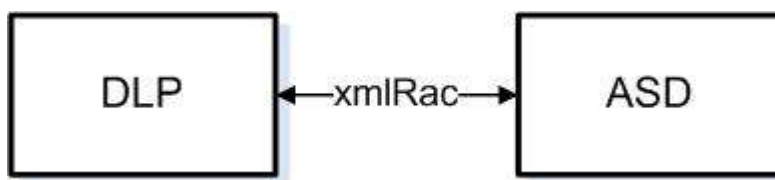


Figura 13: Ambiente de Testes da Fase 2 de Testes

ID	Descrição	Critério	Resultado
1	Envio de mensagem register por parte do ASD para se registar no servidor.	Cliente ASD registar-se com sucesso no DLP sempre que é enviada esta mensagem.	OK
2	Envio periódico de mensagem alive do DLP para o ASD para saber se o link continua activo.	Mensagens aparecerem correctamente nos Log do ASD e DLP receber com sucesso as mensagens reply do ASD.	OK
3	Envio de mensagem reply do ASD para o DLP ou vice-versa para completar cada transacção.	Mensagens aparecerem correctamente no Log dos dois lados. Ambos receberem com sucesso as mensagens de reply.	OK

Tabela 2: Testes realizados/Resultados no ambiente de Teste 2 para protocolo xmlRac

Na tabela anterior conseguimos ver os resultados dos testes à interface entre o DLP e o ASD, com o envio das mensagens de protocolo xmlRac. Após verificado o funcionamento da interface entre os dois componentes foram testadas as mensagens aplicacionais que já tinham sido testadas só com o ASD, mas agora enviadas pelo DLP, e foram ainda testadas as mensagens que saem do ASD, que nesta fase puderam ser decodificadas no DLP e com isso testar também o parser XML do DLP.

ID	Descrição	Critério	Resultado
1	Envio de mensagem log-notification para o ASD para testar o símbolo Data Link após recepção de logon.	Codificação correcta da mensagem XML e símbolo Data Link aparecer a cinzento ao lado do callsign da aeronave.	OK
2	Envio de mensagem de cpdlc-start-resp positiva para o ASD para testar o símbolo Data Link após o início do serviço CPDLC.	Codificação correcta da mensagem XML e símbolo Data Link passar de cinzento para verde.	OK
3	Envio de mensagem cpdlc-message com um Request Level duma aeronave para o ASD para testar funcionamento da tabela de mensagens.	Codificação correcta da mensagem XML e mensagem aparecer correctamente na tabela de Downlink Messages.	OK
5	Produção de mensagens cpdlc-start-req, cpdlc-end-req e cpdlc-messages com CFL, Unable e Standby do controlador para testar construção das mensagens no ASD.	Mensagens bem construídas no Log da aplicação e bem decodificadas no DLP.	OK
6	Envio de mensagem de cpdlc-end-resp positiva para o ASD para testar o símbolo Data Link após o término do serviço CPDLC.	Codificação correcta da mensagem XML e símbolo Data Link passar de verde para cinzento.	OK

Tabela 3: Testes realizados/Resultados no ambiente de Teste 2 para mensagens aplicacionais.



## 5.2 Testes de Sistema

Como já explicado na secção da implementação do SIMATM, para substituir este foram usadas as tools ATN do DLS que são também um emulador de aeronave e que permitem emular logons e comunicação CPDLC por parte de um piloto/aeronave. Temos então assim na configuração de teste uma estrutura idêntica à da arquitectura definida mas com o DLS e as suas tools ATN a substituírem o SIMATM. Nesta configuração, para além dos testes unitários e dos testes de integração já realizados nas outras fases, foi possível fazer testes de sistema uma vez que já estava disponível um ambiente completo de comunicação através de Data Link. Foram então criados cenários com várias trocas de mensagens CPDLC para mostrar o funcionamento da tecnologia numa transacção de mensagens normal sem interrupções. Podemos ver na figura seguinte um diagrama do ambiente de testes utilizado.

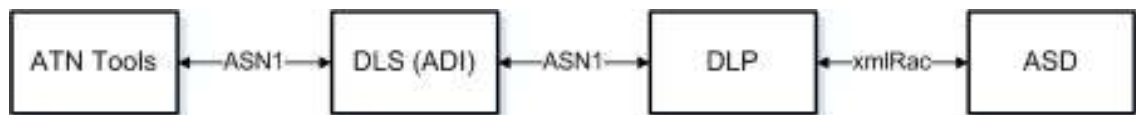


Figura 14: Ambiente de Testes da Fase 3 de Testes

### 5.2.1 Descrição dos Cenários

Na tabela seguinte podemos ver uma descrição de todos os cenários realizados durante a fase de testes de sistema. Os cenários 1, 2 e 3 são os cenários que representam o Logon e o iniciar e terminar do serviço CPDLC e portanto englobam todos os restantes cenários, através do cenário 1 e 2 no início e do cenário 3 no fim do cenário definido.

ID	Descrição	Critérios	Resultado
1	1. Piloto envia pedido de Logon nas tools do DLS. 2. DLP processa e valida o pedido de Logon. 3. Controlador verifica que a aeronave tem o símbolo Data Link a cinzento.	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Mensagem chegar em condições ao DLP.</li><li>○ DLP processar bem o pedido e enviar a mensagem log-notification para o ASD após a validação do mesmo pedido.</li><li>○ ASD processar bem a mensagem log-notification e símbolo Data Link aparecer a cinzento ao lado do callsign.</li></ul>	OK
2	1. Controlador envia um pedido de iniciação de serviço CPDLC através do botão Cpdlc Start. 2. DLP processa a mensagem e envia-a para as tools ATN do DLS. 3. Piloto nas tools recebe um pedido de iniciação do serviço CPDLC. 4. Piloto envia uma resposta positiva ao pedido de Cpdlc Start. 5. DLP processa resposta e envia mensagem cpdlc-start-resp com resposta positiva para o ASD. 6. Controlador verifica que a aeronave tem o símbolo Data Link a verde.	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Pedido chegar correctamente ao DLP.</li><li>○ DLP processar bem o pedido e enviar o pedido para o DLS.</li><li>○ Piloto visualizar correctamente o pedido de iniciação de serviço CPDLC nas tools ATN do DLS.</li><li>○ Piloto conseguir enviar uma resposta positiva ao pedido.</li><li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-start-resp com resultado positivo para o ASD.</li><li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-start-resp e símbolo Data Link passar a verde.</li></ul>	OK

ID	Descrição	CrITÉrios	Resultado
3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Controlador envia um pedido de término de serviço CPDLC através do botão Cpdlc End.</li> <li>2. DLP processa a mensagem e envia-a para as tools ATN do DLS.</li> <li>3. Piloto nas tools recebe um pedido de término do serviço CPDLC.</li> <li>4. Piloto envia uma resposta positiva ao pedido de Cpdlc End.</li> <li>5. DLP processa resposta e envia mensagem cpdlc-end-resp com resposta positiva para o ASD.</li> <li>6. Controlador verifica que a aeronave tem o símbolo Data Link a cinzento.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Pedido chegar correctamente ao DLP.</li> <li>○ DLP processar bem o pedido e enviar o pedido para o DLS.</li> <li>○ Piloto visualizar correctamente o pedido de término de serviço CPDLC nas tools ATN do DLS.</li> <li>○ Piloto conseguir enviar uma reposta positiva ao pedido.</li> <li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-end-resp com resultado positivo para o ASD.</li> <li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-end-resp e símbolo Data Link passar a cinzento.</li> </ul>	OK
4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Controlador envia uma clearance do tipo um20-Climb To Level.</li> <li>2. DLP recebe a cpdlc-message, processa e envia para o DLS.</li> <li>3. Piloto recebe a mensagem nas tools ATN do DLS.</li> <li>4. Piloto responde à mensagem com dm0-Wilco.</li> <li>5. DLP recebe a cpdlc-message como resposta à clearance, processa e envia para o ASD.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Clearance chegar correctamente ao DLP.</li> <li>○ DLP processar bem a clearance e enviaá-la para o DLS.</li> <li>○ Piloto visualizar correctamente a clearance nas tools ATN do DLS.</li> <li>○ Piloto conseguir enviar o Wilco como resposta à clearance.</li> <li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-message e actualizar a tabela de mensagens Data Link.</li> </ul>	OK
5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Controlador envia uma clearance do tipo um20-Climb To Level.</li> <li>2. DLP recebe a cpdlc-message, processa e envia para o DLS.</li> <li>3. Piloto recebe a mensagem nas tools ATN do DLS.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Clearance chegar correctamente ao DLP.</li> <li>○ DLP processar bem a clearance e enviaá-la para o DLS.</li> <li>○ Piloto visualizar correctamente a clearance nas tools ATN do DLS.</li> <li>○ Piloto conseguir enviar o Standby como</li> </ul>	OK

ID	Descrição	Critérios	Resultado
	<p>4. Piloto responde à mensagem com dm2-Standby.</p> <p>5. DLP recebe a cpdlc-message como resposta à clearance, processa e envia para o ASD.</p> <p>6. ASD recebe a cpdlc-message com a resposta e actualiza a tabela de mensagens.</p> <p>7. Piloto responde à mensagem com dm1-Unable.</p> <p>8. DLP recebe a cpdlc-message como resposta à clearance, processa e envia para o ASD.</p> <p>9. ASD recebe a cpdlc-message com a resposta e actualiza a tabela de mensagens.</p>	<p>resposta à clearance.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-message e actualizar a tabela de mensagens Data Link.</li> <li>○ Piloto conseguir enviar o Unable como resposta à clearance.</li> <li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-message e actualizar a tabela de mensagens Data Link.</li> </ul>	
6	<p>1. O piloto envia um request do tipo dm6-Request Level.</p> <p>2. DLP recebe o request, processa e envia cpdlc-message para o ASD.</p> <p>3. ASD recebe cpdlc-message e mostra a mesma na tabela de mensagens.</p> <p>4. Controlador vê a mensagem e responde com uma clearance do tipo um20-Climb To Level.</p> <p>5. DLP recebe a cpdlc-message, processa e envia para o DLS.</p> <p>6. Piloto recebe a mensagem nas tools ATN do DLS.</p> <p>7. Piloto responde à mensagem com dm0-Wilco.</p> <p>8. DLP recebe a cpdlc-message como</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Request do piloto chegar correctamente ao DLP.</li> <li>○ DLP processar bem o request e enviar cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD receber a cpdlc-message e actualizar correctamente a tabela de mensagens.</li> <li>○ Controlador conseguir responder com uma clearance ao pedido do piloto</li> <li>○ DLP processar bem a clearance do controlador e enviar cpdlc-message para o DLS.</li> <li>○ Piloto conseguir enviar o Wilco como resposta à clearance.</li> <li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-</li> </ul>	OK

ID	Descrição	Crerios	Resultado
	<p>resposta à clearance, processa e envia para o ASD.</p> <p>9. ASD recebe a cpdlc-message com a resposta e actualiza a tabela de mensagens.</p>	<p>message e actualizar a tabela de mensagens Data Link.</p>	
7	<p>1. O piloto envia um request do tipo dm9-Climb To Level.</p> <p>2. DLP recebe o request, processa e envia cpdlc-message para o ASD.</p> <p>3. ASD recebe cpdlc-message e mostra a mesma na tabela de mensagens.</p> <p>4. Controlador vê a mensagem e responde com Standby.</p> <p>5. DLP recebe a cpdlc-message, processa e envia para o DLS.</p> <p>6. Piloto recebe a mensagem nas tools ATN do DLS.</p> <p>7. Controlador responde ao request com Unable.</p> <p>8. DLP recebe a cpdlc-message, processa e envia para o DLS.</p> <p>9. Piloto recebe a mensagem nas tools ATN do DLS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Request do piloto chegar correctamente ao DLP.</li> <li>○ DLP processar bem o request e enviar cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD receber a cpdlc-message e actualizar correctamente a tabela de mensagens.</li> <li>○ Controlador conseguir responder com Standby ao pedido do piloto.</li> <li>○ DLP processar bem o Standby do controlador e enviar cpdlc-message para o DLS.</li> <li>○ Controlador conseguir responder com Unable ao pedido do piloto</li> <li>○ DLP processar bem a clearance do controlador e enviar cpdlc-message para o DLS.</li> </ul>	OK
8	<p>1. O piloto envia um request do tipo dm10-Descend To Level.</p> <p>2. DLP recebe o request, processa e envia cpdlc-message para o ASD.</p> <p>3. ASD recebe cpdlc-message e mostra a mesma na tabela de mensagens.</p> <p>4. Controlador vê a mensagem e responde com Standby.</p> <p>5. DLP recebe a cpdlc-message,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Request do piloto chegar correctamente ao DLP.</li> <li>○ DLP processar bem o request e enviar cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD receber a cpdlc-message e actualizar correctamente a tabela de mensagens.</li> <li>○ Controlador conseguir responder com Standby ao pedido do piloto.</li> <li>○ DLP processar bem o Standby do</li> </ul>	OK

ID	Descrição	CrITÉrios	Resultado
	<p>processa e envia para o DLS.</p> <p>6. Piloto recebe a mensagem nas tools ATN do DLS.</p> <p>7. Controlador responde ao request com uma clearance do tipo um20-Climb To Level.</p> <p>8. DLP recebe a cpdlc-message, processa e envia para o DLS.</p> <p>9. Piloto recebe a mensagem nas tools ATN do DLS.</p> <p>10. Piloto responde à mensagem com dm2-Standby.</p> <p>11. DLP recebe a cpdlc-message como resposta à clearance, processa e envia para o ASD.</p> <p>12. ASD recebe a cpdlc-message com a resposta e actualiza a tabela de mensagens.</p> <p>13. Piloto responde à mensagem com dm1-Unable.</p> <p>14. DLP recebe a cpdlc-message como resposta à clearance, processa e envia para o ASD.</p> <p>15. ASD recebe a cpdlc-message com a resposta e actualiza a tabela de mensagens.</p>	<p>controlador e enviar cpdlc-message para o DLS.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Controlador conseguir responder com uma clearance ao pedido do piloto</li> <li>○ DLP processar bem a clearance do controlador e enviar cpdlc-message para o DLS.</li> <li>○ Piloto conseguir enviar Standby como resposta à clearance.</li> <li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-message e actualizar a tabela de mensagens Data Link.</li> <li>○ Piloto conseguir enviar Unable como resposta à clearance.</li> <li>○ DLP processar bem a resposta e enviar mensagem cpdlc-message para o ASD.</li> <li>○ ASD processar bem a mensagem cpdlc-message e actualizar a tabela de mensagens Data Link.</li> </ul>	

Tabela 4: Tabela com a descrição dos cenários realizados para testes de sistema.

Pode-se ver na tabela que todos os testes de sistema realizados tiveram resultado positivo.

O resto dos testes realizados ao longo desta fase são de conteúdo confidencial e não estão disponíveis nesta versão pública do relatório.



## Capítulo 6

### Conclusões

Com o aumento de tráfego, os prestadores de serviços de controlo de tráfego aéreo deparam-se com a necessidade de adequar os seus sistemas à procura que advém desse aumento de tráfego. É por isso necessária uma evolução constante com a inclusão de novas tecnologias que permitam simplificar tanto os sistemas como o trabalho dos controladores e pilotos. Prestadores de serviços de controlo de tráfego aéreo e companhias aéreas trabalham cada vez mais em conjunto para simplificar o mais possível o trabalho de todas as partes.

O Data Link surge como uma forma de suprimir uma das várias necessidades de evolução dos sistemas. Como explicado anteriormente, o Data Link vem introduzir a comunicação digital entre aeronaves e centros de controlo, como complemento à tradicional comunicação por voz. Esta é uma evolução necessária pois o espectro das frequências de rádio é cada vez mais um bem escasso e é essencial uma solução para este problema.

O projecto desenvolvido, com a inclusão da tecnologia Data Link no sistema da NAV vem portanto colmatar o problema referido. Com esta evolução do ASD – Air Situation Display – e com a futura evolução do SIMATM, vai ser possível testar todas as novas funcionalidades Data Link que vão surgir e ainda dar formação aos controladores quando o Data Link for operacional. Neste momento o protótipo ASD encontra-se já numa versão estável com um determinado número de funcionalidades Data Link implementadas e está pronto para ser avaliado pelo cliente (controladores) de modo a que sejam obtidos novos requisitos para o sistema e se possa assim amadurecer o mesmo.

Para além desta evolução do protótipo ASD e consequente evolução do DLP – Data Link Processor – é ainda necessário desenvolver o protótipo no SIMATM para que se possa ter um ambiente completo de simulação sem ser com as tools ATN do DLS que não serão usadas no Pré-OJT.



O trabalho futuro passa então por amadurecer os dois componentes já implementados, aumentando o numero de funcionalidades do mesmo e aumentando também o leque de mensagens Data Link que processam, que neste momento é limitado apenas para mostrar o funcionamento da tecnologia, e desenvolver o protótipo no SIMATM.

Terminado o estágio, penso que este teve um resultado bastante positivo apesar de não ter sido desenvolvido o protótipo no SIMATM. Como explicado anteriormente, os sistemas a evoluir são críticos e bastante complexos não havendo por isso espaço para erros, o que levou a que houvesse inicialmente um grande período de formação. Período esse que foi muito vantajoso em vários sentidos uma vez que houve várias formações em várias tecnologias e até formações em controlo de tráfego aéreo para perceber realmente o funcionamento do negócio, o que foi bastante interessante e me deu bastante conhecimento acerca de tudo aquilo que se faz na NAV.

Com este estágio tive a oportunidade de conhecer o mundo empresarial, até aqui desconhecido para mim. Foi uma excelente experiência que me permitiu passar de um ambiente de faculdade onde os trabalhos são normalmente para dar formação aos alunos e para os mesmos serem avaliados mas depois não têm necessariamente uma aplicação prática como os trabalhos realizados aqui na empresa. Torna-se mais motivante saber que se está a participar num projecto que vai ter realmente um uso prático e ainda para mais aqui na NAV, com o tipo de projecto que trata. Para além disso foi ainda possível realizar um projecto do princípio ao fim seguindo um modelo de desenvolvimento pré-definido, onde tive também de produzir documentação acerca dos vários componentes desenvolvidos e evoluídos. Durante o projecto tive a possibilidade de trabalhar com várias tecnologias diferentes, como o Java e o C/C++, trabalhar em vários sistemas operativos, como Windows XP, Linux e OS/2 e usar várias ferramentas que desconhecia, como por exemplo, o Tortoise CVS – Concurrent Version System [26] – para gerir as várias versões do trabalho que ia desenvolvendo.

Penso que aquilo que aprendi quer na licenciatura, quer no primeiro ano de mestrado, foi bastante útil neste estágio, uma vez, que mesmo tendo que trabalhar com algumas ferramentas desconhecidas e ter que desenvolver em linguagens conhecidas mas com um nível de complexidade bastante mais elevado, a capacidade analítica, de resolução de problemas e de adquirir novo conhecimento que fui ganhando durante o período passado na faculdade me ajudou muito.

Como opinião geral penso que o estágio correu bastante bem e sinto-me muito realizado com o resultado final.